

UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE



FAKULTA HUMANITNÍCH STUDIÍ

obor sociální a kulturní ekologie

Bc. Jan Otčenášek

**Vnímání drsnosti zvuku a drsnost zvuku
jako parametr hlukového znečištění**

**Auditory roughness perception and roughness as a
component of environmental noise**

Diplomová práce

Vedoucí práce: Ing. Alois Melka, CSc.

Praha 2016

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracoval samostatně, všechny použité prameny a literatura byly řádně citovány. Práce nebyla využita k získání jiného nebo stejného titulu. Souhlasím se zveřejněním práce v knihovně i v elektronické podobě na internetu a s jejím užitím pro účely studia a výzkumu v souladu s autorským právem.

V Praze dne 24. června 2016

Jan Otčenášek

Poděkování

Chtěl bych poděkovat Ing. Alois Melkovi, CSc. za jeho pečlivé vedení, všem respondentům, kteří se zúčastnili tohoto výzkumu a celé své rodině.

Abstrakt

V práci byl proveden rozbor a stavu výzkumu problematiky hlukové zátěže leteckým hlukem i současné situace v praxi. Byly realizovány záznamy leteckého hluku proudových letadel během vzletu v ose dráhy letiště Václava Havla v Praze a následně byl proveden poslechový test s těmito zvuky. Předkládané podněty se lišily mírou nepříjemnosti. V poslechovém testu byla hodnocena míra nepříjemnosti, míra drsnosti, preference zvuků a byly získány popisné slovní popisy vjemů, které respondenti při poslechu leteckého hluku měli. Výstupem práce je slovník slovních deskriptorů popisujících vjemy. Byl nalezena úměrnost mezi pocitem nepříjemnosti a mírou drsnosti a byla nalezena souvislost drsnosti a dalšími charakteristikami popisujícími vnímané zvuky.

Klíčová slova: drsnost zvuku, hlukové znečištění

Abstract

The thesis contains overview of the current research state and current practice in the area of environmental noise. Aircraft noise recordings of jet engined aircraft were recorded on site in the Vaclav Havel Prague airport runway axis, and a listening tests were performed. The judged stimuli differed in the extent of unpleasantness. Listeners evaluated the level of unpleasantness, roughness, the extent of preference and also the descriptors of the judged noise (a dictionary of verbal descriptors is also one of the results of the thesis). The results indicate a link between unpleasantness and roughness extent, however also other relationships were found.

Key words: auditory roughness, environmental noise

OBSAH

1. ÚVOD.....	9
2. TEORETICKÁ ČÁST	10
I. PROBLEMATIKA HLUKU A ZVUKOVÉHO ZNEČIŠTĚNÍ	10
II. VNÍMÁNÍ HLUKU	18
III. LETECKÝ HLUK	24
IV. INDIKÁTORY KVANTIFIKUJÍCÍ HLUKOVOU ZÁTĚŽ.....	29
2. METODOLOGICKÁ ČÁST.....	37
I. METODOLOGICKÉ ASPEKTY VÝZKUMU HLUKU	37
II. STATISTICKÉ POSTUPY ZPRACOVÁNÍ VÝSLEDKŮ	44
3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	45
I. ZÁZNAM LETECKÉHO HLUKU A PŘÍPRAVA STIMULŮ	45
II. POSLECHOVÉ TESTY	47
III. ZPRACOVÁNÍ VÝSLEDKŮ POSLECHOVÝCH TESTŮ	50
4. ZÁVĚR.....	67
I. SOUHRN PRÁCE.....	67
II. DOPORUČENÍ PRO NAVAZUJÍCÍ PRÁCI	67

Seznam zkratk

CNEL	- ekvivalentní hladina hluku okolního prostředí
CRTN	- calculation of road traffic noise
ČHMÚ	- Český hydrometeorologický úřad
dB	- decibell
dB _(A)	- vážená hladina akustického tlaku
EC	- Evropská komise
EDNL	- effective day – night average sound level
EEA	- Evropská agentura pro životní prostředí
EPNL	- efektivní hladina vnímaného hluku
EPNL	- efektivní vnímaná hladina akustického tlaku
F _{abs}	- absolutní četnost výskytu
F _{rel}	- relativní četnost výskytu
Hz	- Hertz
<i>Ibid.</i>	- <i>ibidem</i> (lat. tamtéž)
ICAO	- Mezinárodní organizace pro civilní letectví
kHz	- 1000 Hertz
L _{AE}	- hladina zvukové expozice
L _{Aeq}	- ekvivalentní hladina akustického tlaku
L _{Amax}	- maximální hladina akustického tlaku
L _{Amin}	- minimální hladina akustického tlaku
L _{AN}	- distribuční procentní hladiny akustické tlaku
L _{day}	- hlukový ukazatel pro den
L _{den}	- hlukový ukazatel pro den – večer – noc
L _{dn}	- day – night average sound level
L _n	- Hladina hlasitosti
L _{night}	- hlukový ukazatel pro noc
L _x	- percentilová hladina
NAT _x	- number above treshold
NEF	- předpověď hlukové zátěže
NPL	- hladina zatížení hlukem
OSN	- Organizace spojených národů
PEI	- index události na osobu
PNL	- vnímaná hladina hluku
TEL	- hladina provozní expozice
TNI	- index dopravního hluku
ÚCL	- Úřad pro civilní letectví
VARR	- verbal attribute ranking and rating method
WECPNL	- vážený ekvivalent hladiny rušivosti hluku
WHO	- Světová zdravotnická organizace

Seznam příloh

Příloha č. 1: Projekt diplomové práce

Příloha č. 2: Frekvenční spektra

Seznam obrázků

Obr. 1 Vlevo. Záznam zvuku v místě Unhošť. Vpravo. Záznam v místě Praha-Suchdol

Obr. 2 Snímek vybraných obrazovek v poslechového testu. Nahoře: 1 a 2 obrazovka seřadovacího testu VARR. Dole vlevo: Test párového srovnávání nepodobnosti (škála byla totožná i v testu hodnocení nepřijemnosti). Dole vpravo: Test párového srovnávání se sběrem popisných charakteristik.

Obr. 3 Vlevo: Četnost výskytu popisných charakteristik (Sloučený slovník obou skupin f_{abs} 26-380). Uprostřed: Četnost výskytu popisných charakteristik (skupina laici f_{abs} 15-280). Vpravo: Četnost výskytu popisné charakteristiky (skupina experti, f_{abs} 100-10). Každý graf je seřazen od nevyšší hodnoty po nejnižší.

Obr. 4 Vlevo: Součet četností výskytu slov u skupiny *laiků*, *expertů* a *všichni* v kategoriích (kategorie dle relativní četnosti výskytu slov). Vpravo: Relativní četnosti výskytu, seřazené od nejvyšší hodnoty po nejnižší, pro skupinu *laiků*, *expertů* a sloučenou skupinu *všichni*.

Obr. 5: f_{rel} výskytu shodných popisných slov (skupina laici, experti; F_{abs} 280-10, seřazeno dle průměrné hodnoty).

Obr. 6: Vlevo. Procentní podíl laiků a expertů, kteří uvedli slovní popis (pro $> 1/4$ podíl expertů užívajících slovo, seřazeno dle prům. podílu). Vpravo. Rozdíly podílů expertů a laiků (viz graf vlevo, seřazeno dle hodnot rozdílu).

Obr. 7: Rozsah hodnot míry nepřijemnosti hodnocené jednotlivými respondenty v poslechovém testu metodou VARR. Vlevo: Seřazeno dle průměru. Vpravo: Seřazeno dle nejvyšší hodnoty nepřijemnosti každého respondenta.

Obr. 8: Rozsah hodnot míry nepřijemnosti zvuků, test VARR, seřazeno dle průměru. Vlevo: Medián. Vpravo: Průměr

Obr. 9: Preferenční skóre hodnot míry nepřijemnosti zvuků, preferenční test, seřazeno dle průměru. Vlevo: Medián. Vpravo: Průměr.

Obr. 10: Rozsah hodnot míry drsnosti zvuků, test VARR, seřazeno dle průměru. Vlevo: Medián. Vpravo: Průměr

Obr. 11: Využití škál hodnocení drsnosti (vlevo) a nepřijemnosti (vpravo) jednotlivými respondenty v poslechovém testu metodou VARR (hodnoty All představují průměr hodnot respondentů 1 až 23).

Obr. 12: Ukázky porovnání očekávaných hodnot normální pravděpodobnosti s hodnotami získanými v poslechovém testu metodou VARR. Vlevo pro zvuk č. 10 (obdobný průběh se vyskytoval u 2/3 všech zvuků), vpravo pro zvuk č. 32 (vybrána ukázka zvuku nejvíce odchylného od normálního rozdělení, zbývající 1/3 zvuků měla odchylky menší). Čárkovaně vyznačen konfidenční interval 0.95.

Obr. 13: Využití škál hodnocení nepodobnosti (vlevo) a nepřijemnosti (vpravo) jednotlivými respondenty v poslechovém testu metodou párového srovnávání.

Obr. 14: Shora dolu: Shepardův diagram závislosti vzdálenosti mezi jednotlivými zvuky v N rozměrném MDS prostoru (N od 1 do 9) na mírách rozdílu nepřijemnosti (nepřijemnostní nepodobnosti) jim odpovídajících párů zvuků, které byly vloženy jako vstupní data. Vpravo dole: Scree plot závislosti Stresu (zbývající variability dat zůstávající jako chybné vystižení vstupní nepřijemnostní nepodobnosti vypočtenými MDS vzdálenostmi) na dimenzionalitě MDS prostoru.

Obr. 15: Spojení slovních deskriptorů na základě korelací četností výskytu na jednotlivých zvucích.

Obr. 16: Vlevo: Vlastní čísla jednotlivých faktorů získaných z hodnot slovních deskriptorů na jednotlivých zvucích (Scree plot). Vpravo: Zobrazení faktorového prostoru pro 1., 2. a 3. faktor, které dohromady vyčerpávají 55% variability dat. Slovy popsány pozice deskriptorů, které leží přibližně na osách těchto faktorů.

Obr. 17: Shora dolu: Vystižení hodnot vlastnosti *zvonivý* pomocí hodnot jednotlivých zvuků na osách 3D až 9D MDS prostoru nepřijemnosti použitých jako predikátory. Dole uprostřed: Vystižení hodnot vlastnosti *drsný* v totéž 9D prostoru. Dole vpravo Vystižení hodnot pocitu nepřijemný v totéž 9D prostoru.

Obr. 18: První 3 dimenze MDS prostoru nepřijemnosti. Nahoře: Gradace nepřijemnosti (černě), drsnosti (červeně) a šumivosti (světle modře) v tomto prostoru (velikost kruhových symbolů umístění zvuku v prostoru je úměrná míře nepřijemnosti). Dole: Gradace drsnosti (červeně), drčivosti (fialově), fučivosti (okrově), vrčivosti (černě), řezavosti (světle modře), skřípavosti (modře), bzučivosti (zeleně) ve stejném prostoru (velikost kruhů je úměrná míře drsnosti).

Seznam tabulek

Tabulka 1. Vyloučené zvuky. Nejnížší nepodobnost s jiným zvukem

Tabulka č. 2 Nejvíce četná slova ve frekvenčním slovníku expertů, laiků a všichni ($f_{rel} > 1.8$ a $f_{rel} > 2.9$, hnědě jsou vyznačena slova shodná ve všech skupinách)

Tabulka č. 3 Sloučená slova a výsledné deskriptory vlastností jednotlivých zvuků.

Tabulka č. 4 Slovní deskriptory vlastností jednotlivých zvuků

Tabulka č. 5: Seznam deskriptorů ležících přibližně na osách faktorů (kurzivou jsou deskriptory mající nenulové hodnoty v dalších faktorech. V horní části jsou slova z kladného konce os (+), ve střední části ze záporné části (-), v dolní části je seznam reprezentujících deskriptorů pro vnoření.

Tabulka č. 6 deskriptory zvuků, které měly ve frekvenčním pásmu pásmu 1200 – 2700 Hz výrazné blízko sebe ležící harmonické složky (f_{abs} 350-10, seřazeno dle f_{abs} , červeně podtrženy společné deskriptory)

Výzkumná oblast: Ukazatele hlukového znečištění

Výzkumné téma: Výzkum barvy zvuku v hlukovém znečištění

Předkládaná práce se zabývá vnímáním hluku v prostředí v souvislosti s vnímáním drsnosti a nepříjemnosti zvuku. Z důvodu širší dané problematiky se práce úžeji zaměřila na vnímání hluku dopravních letadel během vzletu.

1. Úvod

Změny tlaku šířící se obklopujícím prostředím v podobě akustických vln představují průvodní jevy kmitání, které vyvolá působení přírodních sil nebo působení živých organismů. Velká část živočichů, včetně člověka, tyto zvuky dokáže vnímat. Velké množství zvuků produkuje sám člověk nebo jím prováděná činnost. Některé tyto zvuky mohou být záměrnými komunikačními nebo kulturními projevy, jiné produkuje bezděčně, aniž by chtěl. Ve svém každodenním životě je tak každý slyšící člověk vystaven působení zvuků, které jsou součástí životního prostředí. Nežádoucím výsledkem lidské činnosti jsou pak zvuky, které souhrnně označujeme jako hluk.

U člověka (ale i většiny dalších živočichů) jsou sluchové vjemy spolu s vjemy z ostatních smyslů zdrojem informací o jeho okolí. Vyhodnocování sluchových vjemů plní řadu úloh. Prvotní úlohou je, stejně jako u jiných živých organismů, výstraha při nebezpečí či vyvolání reakce zachraňujících život. U lidí i dalších živočichů se také rozvinula další, komunikační a informační úloha vyhodnocování sluchových vjemů (tyto úlohy souvisejí i s rozvojem abstraktního myšlení a inteligence) a úlohy estetického působení. Výzkum některých těchto základních zákonitostí subjektivního vnímání zvuku člověkem představuje interdisciplinární oblast na pomezí neurofyzologie, psychologie a akustiky.

Vnímání sluchových vjemů je u člověka neodlučně spjata s prožíváním pocitů a má široké spektrum různých podob, které souvisí s uvedenými funkcemi. Základními podobami mohou být i příjemnost či nepříjemnost. Tyto pocity mohou provázet vnímání zvukového podnětu, který může souviset s ději, jenž jedince ohrožují, narušují jeho životní prostředí nebo ruší jeho komunikační či informační vazby na okolí. Zvuky v prostředí, které jsou nepříjemné a zatěžující pak obecně mohou tvořit část hlukové zátěže člověka.

Hluková zátěž a hlukové znečištění představuje významný problém lidského i přírodního životního prostředí. V současnosti jsou k vyjádření tohoto znečištění využívány různé druhy indikátorů, založené především na měření základních fyzikálních veličin, zejména hladin akustického tlaku (viz odstavec ukazatele hlukové zátěže). Na zátěži obyvatel se však mohou podílet také další vlastnosti zvuku, které jsou součástí vnímání zvuku člověkem, a mohou mít vliv na míru nepříjemnosti a zprostředkovaně také na obtěžování hlukem či zdraví člověka.

Součástí tohoto působení na člověka mohou být také různé druhy drsností zvuku, z nichž některé byly dány do souvislosti s pocitem nepříjemnosti zvuku. Cílem této práce je prozkoumat tyto další vlastnosti zvuku u hlukové zátěže a hluku v prostředí. Z celého komplexu výzkumné problematiky se práce soustředí na výzkum těchto vlastností u leteckého hluku. V práci byly použity metody záznamu leteckého hluku in situ, konstrukce a interpretace prostorů nepříjemnosti a frekvenčních slovníků na základě poslechového testu.

2. Teoretická část

1. Problematika hluku a zvukového znečištění

Zvuk

Zvukem je nazýváno vlnění šířící se vzduchem, které je člověk schopen vnímat svým sluchovým aparátem. Šíření zvukových vln vzduchem vyvolávají zdroje zvuku rozkmitáním svých hmotných částí, které jsou vzduchem obklopeny, či víření částic vzduchu rozkmitaných tlakovou expanzí. Obecně je zvukem označováno šíření vibrací ve hmotě vhodného elastického média v rozsahu slyšitelných frekvencí 20 Hz až 20 kHz (Raichel 2006, s. 15). Zvukové vlnění představují oscilace tlaku vzduchu kolem hodnoty barometrického tlaku (tlak je síla na jednotku plochy vyjádřitelná např. jednotkou Pascal, jeho oscilace kolem hodnoty barometrického tlaku jsou označovány za akustický tlak) (*ibid.*). Jeden zdroj zvuku může obvykle kmitat současně více frekvencemi, které se obecně mohou proměňovat a různě tlumit. Vyzářený zvuk šířící se z jednoho zdroje může v průběhu času obsahovat celý komplex změn velikosti a periodicit akustického tlaku (*Ibid.*).

Výsledný sluchový vjem člověka vyvolaný určitým zvukem je výsledkem zpracování mnoha informací, které zvukový signál obsahuje. Lidský sluchový aparát detekuje počátek a konec zvuku (zvukové události) a vyhodnocuje délku trvání určitých oscilací tlaku, jejich stálost i krátkodobou a dlouhodobou proměnnost (člověk je tedy schopen vnímat velikost a periodicitu akustického tlaku, i míru jejich změn). Tyto vnímané vlastnosti jsou pak příčinou různých vnímaných kvalit, například výšky či hlasitosti. Na výsledném vjemu se, mimo rozeznání hlasitosti a výšky, mohou podílet i další vlastnosti, které jsou souhrnně označovány jako barva zvuku. Některé kvalitativní změny tlaku tak nemusí být příčinou jen vjemu hlasitosti, ale také určité barvy (Letowski 1992, Genuit 2002). Z tohoto hlediska lze zvuk vymezit také subjektivně, na základě jeho vnímané podoby, například jako sluchový objekt¹ (Bizley a Cohen 2013)

Hluk

Určitou skupinu zvuků člověk vnímá jako hluky. Obecná hranice, na základě které lze zvuk prohlásit za hluk, je poměrně neurčitá. Hluk je tak vymezen subjektivně, na základě hodnocení člověkem či na základě jeho účinků na člověka. Hluk bývá definován například jako „*neharmonický zvukový komplex obtěžujícího nebo nepříjemného charakteru*“ (Sillamy, 2001, s. 71), „*každý nežádoucí zvuk, který vyvolává nepříjemný nebo rušivý vjem nebo který má škodlivý účinek*“ (Smetana et al. 1974, s. 16) či jako jakýkoliv zvuk, který je „*iritující a otravný*“ (Ouis 2002). Na nejvyšší úrovni obecnosti bývá definován zcela subjektivně jako „*nechtěný zvuk*“ (EEA 2010, s. 5).

Hluk je v těchto subjektivních definicích vymezen záporně² a tím je také vymezena jeho převážně škodlivá povaha. Škodlivý účinek může být spjat i s krátkodobým poslechem takto vymezeného zvuku (Syka et al. 1981), avšak účinky hluku jsou zejména spojeny s delší nedobrovolnou expozicí hluku. Tuto delší expozici hlukem popisuje termín *hluková zátěž*³ (např. Borst a Miedema 2005, Cvetkovic a Prascevic 2000). Tento termín se obvykle vztahuje k hlukové expozici člověka, ale je také používán pro vyjádření hlukové expozice životního prostředí a organismů (Barber et al. 2011). Termínem *hluk v prostředí*, či *komunitní hluk*⁴ pak

1 Angl. *auditory object*

2 Hluk je tak definován záporně i přesto, že zvuky, které jej způsobují, mohou být hodnoceny kladně (Vastfjall et al. 2002).

3 Angl. *noise load*

a organismů (Barber et al. 2011). Termínem *hluk v prostředí*, či *komunitní hluk*⁴ pak bývá označován hluk, kterému jsou obyvatelé vystaveni mimo zaměstnání (WHO 1999).

Účinky hlukové expozice lze u člověka lze rozlišit na základě mechanismu působení na *systémové* a *specifické*. Kategorie specifických účinků hluku zahrnuje přímé vlivy hluku na sluchový orgán, například fyziologickým poškozením lidského sluchu. To může nastat krátkodobou intenzivní nebo i dlouhodobou střední expozicí zvukem, při které dochází k poškození receptorové části sluchového ústrojí, například vláskových buněk (Syka et al. 1981). Tyto účinky hluku se odvíjí od expozičních hodnot akustické energie, jimž byl sluchový orgán vystaven, mohou však vznikat i kumulativně v čase při nižších hladinách akustického tlaku (*ibid.*). I expozice středním hladinám akustického tlaku v delším období může vést k patologickým změnám či k trvalému posunu sluchového prahu (Syka et al. 1981). Specifickým účinkem hluku může být také *ušní šelest*⁵, který byl dán do souvislosti s opakovanými přechodnými expozicemi hluku (Kujawa a Liberman 2009). Druhá kategorie zahrnuje nespecifické, systémové účinky hluku. Tyto účinky zahrnují vlivy na nervovou soustavu, rušení činností, obtěžování, rušení spánku a další psychické vlivy, a mohou vznikat na základě dlouhodobé *hlukové zátěže* i při nízkých hladinách akustického tlaku (Smetana et al. 1998). Účinky hluku v této práci jsou především pojaty jako systémové účinky a slovem hluk se v této práci zamýšlí především hluk v prostředí, který představuje hlukové znečištění tohoto prostředí a podílí se na hlukové zátěži obyvatel (na hladinách, na kterých převažují jeho systémové účinky).

Hlavními zdroji hluku v mimopracovním prostředí jsou hluky šířící se do okolí z průmyslové výroby, silniční a letecké dopravy, z provozování služeb, ale mezi zdroje patří i sousedský hluk, hluk nechtěné hudby, technických zařízení staveb a různých zařízení v domácnosti (např. tepelná čerpadla, výtahy, klimatizace, vysavače apod.) (WHO 1999). Hluk v prostředí tak lze vnímat i v interiérech (*ibid.*)

Hlukové znečištění

Hlukové znečištění a hluková zátěž představuje výrazný celosvětový problém lidského i přírodního životního prostředí v rozvojových i rozvinutých zemích (WHO 1999). Dlouhodobá hluková zátěž ovlivňuje kvalitu života lidí a působí na zdraví člověka, například změnami psychického rozpoložení či stresem. Dostatečně průkazně byla ověřena souvislost hlukové zátěže s obtěžováním a náladou, s rušením spánku, s horší výkonností žáků škol, s vysokým krevním tlakem a ischemickou chorobou srdeční (Passchier-Vermeer a Passchier 2000). Hluková expozice má také vliv na výkon činností, bdělost, kvalitu odpočinku a pozornost či paměť (Ouis 2001, Haines et al. 2001). Hluk také narušuje komunikaci, kvalitu prováděných činností či psychickou pohodu a vyvolává afekty a pocity, například stísněnost, neklid, vztek, nepřátelství, lhostejnost, únavu či zmatení (Vastfjall et al. 2003). Hlukové znečištění má také řadu společenských dopadů, například náklady na léčbu (Harding et al. 2013), snížení exkluzivity lokalit, změny vnímání bezpečí (Migliorini et al. 2008) či kvality společenství (Cohen a Spacapan 1984).

Dle hodnot vypočtených na základě podkladů hlukového mapování je např. v evropských zemích vystaveno více než 150 milionů osob hluku překračujícím 55 dB L_{den} , přičemž 4 miliony obyvatel jsou těmito hladinám vystaveny následkem letecké dopravy (EEA 2014). S přibývajícím růstem významu letecké dopravy počet osob vystavených leteckému hluku narůstá (*ibid.*)

4 Angl. *environmental noise* či *community noise*

5 Lat. *tinnitus*

Hluk v životním prostředí

Tato práce se zabývá pouze vlivem hluku na člověka, ovšem schopnost vnímat slyšitelné vibrace má i určitá část živočichů. Působení hluku tak má negativní dopad nejen na člověka, ale i na živočichy a celkové životní prostředí. Hluk může způsobit změny v ekosystémech změnou *ekosystémových procesů* vázaných na zasažené živočichy, změnou *druhového složení* a *fragmentací ekosystémů* (Kaselloo 2006, Barber et al. 2010, Francis et al. 2012) či *zdatnosti* populací (Schroeder et al. 2012). Hluk působí nejen na souši, ale také ve vodním prostředí, kde je vytvářen lodní dopravou, užíváním sonarů, podvodními vrty či stavbou elektráren (Slabbekoorn et al. 2010).

Některé mechanismy, kterými hluk působí, mohou být u člověka i živočichů podobné, například *stres*, *nepohoda* (Rolland et al. 2012), *vyrušování*, *úlekové reakce* (Francis a Barber 2013, Siemers a Schaub 2011), *rušení komunikace* (Francis a Barber 2013) či *rušení spánku* (*ibid.*). Jiné účinky však mohou být zcela individuální. Hluk může např. rušit *lokalizační*⁶, *varovné*, *sociální* či *reprodukční* vokalizace (Slabbekoorn et al. 2010, Haibib et al. 2007, Blickley et al. 2012, Reichert a Ronacher 2015) a vodítka užívaná k lovu či detekci nebezpečí. Hluk tak vede ke změnám areálů či migračních tras (Kastelein et al. 2008, Bruintjes a Radford 2013).

Živočichové se od člověka liší vlastnostmi sluchového ústrojí, způsobem smyslového zpracovávání, využitím smyslů i etologií (Kigh a Swaddle 2010, Francis a Barber 2013). Některé oblasti percepce však mohou být společné. Sluchový orgán savců se již do určité míry podobá lidskému⁷ (Manley 2000). Experimentálně bylo ověřeno, že určití živočichové dokáží vnímat komplexní akustické vlastnosti podobné těm, které vnímá člověk: *hlasitostní* a *výškové* vlastnosti zvuku (Bizley a Kohen 2013, Cynx et al. 1999), *formanty* (Fitch a Kelley 2000), amplitudovou *modulaci* (Joris et al. 2004), *harmonickou* strukturu (Bizley a Cohen 2013, Cynx et al. 1990) či některé komplexní vlastnosti, které člověk vnímá jako *hrubost* či *drsnost* (Fitch et al. 2002, McDermott a Hauser 2004). S vnímáním těchto vlastností pak souvisí některé neurofyzilogické analogie⁸ (Suga et al. 2002, Joris et al. 2004). Různí živočichové ovšem mohou vnímat zvuky odlišně a některé vlastnosti nemusí vnímat zcela (Joris et al. 2004, McDermott a Hauser 2004).

Vliv hluku na zdraví

Světová zdravotnická organizace definuje zdraví jako stav „*úplné fyzické, duševní i společenské pohody*“ (WHO 1948, s. 100). Hluk může ovlivnit duševní i tělesné zdraví (Paschier-Vermeer a Passchier 2000). Na základě vlivu na zdraví je také hluk vymezen v *zákoně o ochraně veřejného zdraví*. V tomto zákoně je hluk definován jako „*zvuk, který je škodlivý pro zdraví*“ (Zákon č. 258/2000 Sb.). Způsoby, kterými může hluk ovlivnit lidské zdraví, mohou být přímé i nepřímé. Nepřímo může hluk ovlivnit zdraví například vytvářením záporných psychických stavů či špatnou kvalitou spánku, přímé účinky mohou být způsobeny stresem či reakcí s vlivem na endokrinní a nervový systém (Kryter 1972, Babisch 2002). U obou způsobů ovlivnění byly dokázány kauzální vztahy mezi hlukovou expozicí a zdravotními následky. Změny vyvolané dlouhodobým stresem mohou například způsobit snížení obranyschopnosti organismu či dlouhodobé zvýšení krevního tlaku, který může vést až k srdečnímu onemocnění (Babisch 2002). V rozvoji těchto zdravotních následků však mají určitou roli i další rizikové faktory (např. hladina krevních tuků u srdeční choroby) (*ibid.*).

Za zdravotní následek hlukové zátěže lze dle definice světové zdravotnické organizace

6 Angl. *acoustic beacons*

7 Např. vlastnostmi vláskových buněk

8 Například některé výzkumy mechanismů vnímání amplitudově modulovaných zvuků, které byly u člověka dány do souvislosti s vjemem drsnosti, byly provedeny na kočce.

považovat také absenci psychické pohody (Kroesen a Schreckenberga 2010). S hlukem spojené psychické změny⁹ však mohou ovlivnit i úžeji vymezené tělesné zdraví. Hluková zátěž navíc může působit na zdraví souběžně s jinými druhy znečištění a může docházet k synergickým vlivům (Kim et al. 2012)

Uvedený vliv hluku na zdraví, pohodu i kvalitu života byl prokázán s vysokou mírou průkaznosti v několika meta analytických studiích (Paschier-Vermeer a Passchier 2000, Job 1996). Následkem hlukové expozice probíhají změny *srdeční činnosti, krevního tlaku, elasticity cév* a vylučování *kortisolu, adrenalinu a noradrenalinu* (Schmidt et al. 2013). Byla také ověřena souvislost míry této expozice s vyšším rizikem *kardiovaskulárních onemocnění*, s některými *psychickými chorobami*¹⁰, změnami *hormonální sekrece, úrovní stresu*, zhoršeným průběhem *uzdravení* (Busch-Vishniac et al. 2005, Hsu et al. 2012) a rušením *cirkadiánní rytmicity* a *spánku*. Vliv hluku na spánek pak představuje samostatnou oblast zdravotních dopadů (Basner et al. 2010). Obyvatelé hlučných lokalit jsou tak častějšími pacienty nemocnic¹¹ (Correia et al. 2013). Na zdravotní účinky hluku nemá vliv adaptace a dlouhodobá habituace. Stres způsobený hlukem se dokonce může při dlouhodobém vystavení hluku zvýšit (Kryter 1972). Podobné poznatky přinesly také studie působení leteckého hluku (Schmidt et al. 2013, Haines et al. 2001).

V populaci mohou existovat skupiny či citlivé osoby, pro něž představuje stejný expoziční faktor různou míru ohrožení. I přes nižší vnímavost k obtěžování jsou například z hlediska zdravotních následků více ohroženou skupinou děti než dospělí (Kamp a Davies 2013), u kterých hluk může působit podobnými mechanismy jako u dospělých (Haines et al. 2001¹²). Ve výzkumech zdravotních dopadů jsou citlivé skupiny v mnoha případech zanedbávány a skutečné zdravotní dopady hlukové zátěže na populaci tak mohou být podceňovány (Lercher 1996).

Vliv hluku na duševní zdraví

Jak bylo řečeno, vnímání hluku a s ním spojené pocity obtěžování či nepříjemnosti mohou ovlivnit aktuální psychický stav osoby (Vastfjall 2002) či ztížit duševní odpočinek (Kamp a Davies 2008). Dlouhodobé působení hluku bylo dáno do souvislosti s psychickou nepohodou, ale také se vznikem některých psychických onemocnění: např. *úzkostných poruch, deprese, hyperaktivity, podrážděnosti* či *chronické únavy* (Stansfeld 2000, Kamp a Davies 2003). V hlučných lokalitách byla také pozorována statisticky vyšší četnost návštěv psychiatrických léčeben, avšak hluk sám zřejmě k rozvoji vážných psychiatrických chorob nevede (Kamp a Davies 2008).

Ovlivnění spánku

Hluková zátěž má obecně uznávané a závažné účinky na lidský spánek a zdraví (WHO 1999). Během spánku lidský organismus „*rozpoznává, vyhodnocuje, a reaguje na zvuky ve svém okolí*“ (Basner et al. 2010) a spící osoby jsou tak vnímavé vůči svému okolí. Spánek probíhá v jednotlivých po sobě jdoucích fázích, přičemž fáze hlubokého spánku jsou nejhodnotnější (Plháková 2001). Hluk může osobu *probudit*, avšak k ovlivnění kvality spánku dochází i *narušením* uvedeného spánkového cyklu přechodem do lehké fáze spánku. K tomu může dojít i pouhým *vyrušením* následkem podvědomého vnímání zvuku. Tento mechanismus je automatický, nemůže u něj dojít k habituaci a dlouhodobá adaptace¹³ nemá na míru rušení spánku vliv (Griefahn et al. 2008, Basner et al. 2010). Osoby vystavené hluku během spánku tak tráví nepoměrné množství

9 Například psychické vytížení nepříjemným či přerušovaným zvukem

10 *Deprese, úzkostné poruchy a hyperaktivita* (Kamp a Davies 2008)

11 I po korekci na vedlejší faktory

12 Studie vlivu leteckého hluku na stres u školních dětí

13 Byl pouze prokázán vliv dlouhodobé adaptace na četnost plného probuzení

spánku ve fázích lehkého spánku. Během přechodu do lehké fáze je také vybudena oběhová soustava s odpovídajícími zdravotními dopady (Basner et al. 2010). Narušená kvalita spánku tak má vliv na změny oběhové soustavy, imunního a hormonálního systému a může být také těmito změnami ovlivněna (*ibid.*). Kvalitu spánku mohou také poznamenat ovlivnění těchto systémů následkem dlouhodobého vystavení hluku během dne (Jarup et al. 2005).

Studie vlivu faktorů hlukové zátěže na rušení spánku vymezují tyto závislosti převážně na základě ukazatelů odvozených z hladin akustického tlaku (Basner et al. 2010). V oblasti vlivu hluku na spánek však též záleží na rozličných dalších vlastnostech hluku či hlukových událostí a na jejich *četnosti* či *distribuci* (*ibid.*). Těmito dalšími vlastnostmi by také mohly být vlastnosti hluku zkoumané v této práci.

Doporučení světové zdravotnické organizace

V dokumentu *Guidlines for community noise* (WHO 1999, s. 4) Světová zdravotnická organizace vyzývá k dalšímu výzkumu indikátorů vyjadřujících vliv hluku na člověka, k rozvoji dodatečných metrik pro posouzení obtěžování hlukem a ke zohlednění citlivých jedinců i skupin lidí v protihlukových opatřeních (např. nemocní, děti, staří lidé, lidé s poškozením sluchu, lidé v nemocnicích). Dokument také připouští možnost vlivu dalších akustických faktorů¹⁴ na obtěžování. Světová zdravotnická organizace ovšem v konečném doporučení stanoví pouze doporučené hodnoty hladin akustického tlaku L_{Aeq} , které by neměl hluk v dlouhodobě překračovat (55 dB_(A) během dne, 45 dB_(A) během noci) a doporučuje pouze zohlednit přítomnost nízkofrekvenčních složek hluku či náhlých změn hladiny akustického tlaku.

Koncept obtěžování hlukem

Účinky hlukové zátěže, které bývají sledovány ve studiích hlukové zátěže, mohou být různého charakteru. Značnou část projevů působení i vlivů této zátěže u člověka může vystihovat obtěžování¹⁵ (Guski et al. 1999). Tento pojem představuje souhrnný termín pro komplexní veličinu, jejíž obsah není jasně vymezený a jejíž pojetí se liší napříč vědeckými studiemi. Obtěžování hlukem (viz dále) je měřitelným projevem hlukové zátěže (Kroesen a Schreckenberg 2011) a je užíváno k vyjádření míry dopadů hluku na člověka.

Na úrovni jedince může obtěžování vyjadřovat estetickou nelibost, afektivní či emoční stav či souhrn negativních pocitů, na úrovni společnosti může být reakcí obyvatel určité oblasti na hlukovou zátěž (Job 1996, Guski et al. 1999). S obtěžováním jsou spojovány atributy *rušení*, *rozčilování*, *nespokojenost*, *obava*, *trápení*, *rozmrzlost*, *nepohodlí*, *obtíže*, *rozhořčení*, *nepohoda*, *nepokoj* (Guski et al. 1999, Passchier-Vermeer a Passchier 2000) či *podrážděnost*, *nelibost*, *vzteky* a *bezmoc* (EEA 2010). Obtěžování hlukem může být studováno jak v krátkém, tak dlouhém časovém úseku (krátkodobé a dlouhodobé obtěžování). Krátkodobé obtěžování představuje okamžitou reakci na hluk (např. probuzení), dlouhodobé obtěžování bývá uváděno jako dlouhodobé „*negativní hodnocení podmínek života způsobené hlukem*“ (Bartels et al. 2015, Guski 1999).

Vliv hlukové zátěže na míru dlouhodobého obtěžování lze popsat šetřením míry obtěžování obyvatel hlukem v názorových studiích obyvatelstva v *dotčených lokalitách*¹⁶ (Schultz 1987). Používány jsou metody dotazníkového či telefonického šetření, v němž respondenti zpětně hodnotí míru obtěžování (standardizace metod měření obtěžování a komunitních reakcí

14 Např. Proměnnost zvuku

15 Angl. *annoyance*. V české literatuře je též uváděn synonymní pojem *rozmrzlost* (Smetana et al. 1998)

16 Angl. *attitude survey of annoyance* Také: *sdělené obtěžování* (reported annoyance), *komunitní úroveň* (community level), *aggregované obtěžování* (aggregated annoyance) či *obecné obtěžování* (global annoyance) (Stallen 1999)

viz např. Fields et al. (1997), Fields et al. (2001)). Míru obtěžování získanou v komunitních šetřeních lze vyjádřit např. jako relativní podíl osob obtěžovaných určitou mírou (např. jako relativní podíl vysoce obtěžovaných). Takto vyjádřené obtěžování je častou veličinou užívanou ve výzkumech reakce obyvatel na hluk. Míra obtěžování vyjádřená tímto způsobem má evalu-ační a sociální povahu (Kroesen et al. 2013) a zahrnuje vliv dalších faktorů i moderujících proměnných. Vlastnostmi, které mohou mít na hodnocení obtěžování vliv, jsou například atri-buce vlastností zdroje, kvalita života, přechodnost hlukové expozice (Kroesen et al. 2013, Stal-len 1999, Guski 1999), změna podmínek expozice, návyk obyvatel na ticho (Job 1996), skladba vykonávaných činností (Bartels et al. 2015), dostupnost ochrany před hlukem, strach či důvěra v opatření a autority (Guski 1999). Obtěžování měřené v komunitách může také zahrnovat další komponenty vlivu hlukové zátěže na člověka jako rušivost, nespokojenost, rozmrzelost¹⁷ či rozrušení (Guski 1999, Job 1999). I přes snahu tyto proměnné při měření zohlednit vysvětlují akustické proměnné (např. L_{Aeq}) jen třetinu celkové variability v míře dlouhodobého obtěžová-ní (Guski 1999)¹⁸ a lze tak sledovat snahu tyto další komponenty zohlednit.

Míru obtěžování hlukem lze vyjádřit i dalšími způsoby, např. na základě četnosti stíží-ností (Fidell 2003) nebo přímým hodnocením během hlukové expozice či hodnocením v kont-rolovaných podmínkách. V laboratorních podmínkách lze obtěžování hlukem sledovat hodno-cením jeho míry během určité předstírané či skutečné činnosti (např. relaxace, odpočinek, rea-lizace poslechového testu) (Leventhall 2004). Jednotlivé komponenty obtěžování (např. ruši-vost či nepříjemnost) lze také měřit samostatně. Takto vyjádřená míra obtěžování byla také označena jako *nezkreslené obtěžování* (Zwicker a Fastl 1999).

Uvedené způsoby vyjádření míry obtěžování zahrnují rozdílné aspekty obtěžování hlu-kem. Souvislost mezi těmito aspekty popisují různé modely obtěžování (např. Job 1996, Ouis 2001, Kroesen et al. 2010). Tyto modely se liší v závislosti na vymezení pojmu obtěžování, na uvažovaném počtu, významu a váze zohledněných faktorů a vazeb i dle důrazu na sociální a psychologickou rovinu či empirické podklady.

Obtěžování hlukem

Obtěžování hlukem může vznikat *nepřímo*, rušením činnosti (např. spánku, řeči, komunikace, odpočinku), zamaskováním jiných zvuků (Kryter 2009), vynucenou změnou nálady, či přímo, vlivem nepříjemných a výrazných vlastností hluku (Muer et al. 2005). Míra obtěžování proto obvykle narůstá s hlasitostí (např. Fastl 1997). To však platí pouze za předpokladu, že se hlasi-tost mění nejvýrazněji (*ibid.*). V praxi mají na obtěžování vliv různé další vlastnosti zvuku. Studie ukazují souvislost míry obtěžování hlukem s počtem *hlukových událostí*, zaregistrova-ných i podvědomých, s *nepředvídatelností* vývoje zvuku (Kryter 2009) a s *proměnnými* či *ne-pravidelnými vlastnostmi* zvuků (Marquis-Favre et al. 2005). *Proměnné, nepravidelné, nepřed-vídatelné* či *náhlé* zvuky jsou hodnoceny jako výraznější, hůře u nich dochází k habituaci a provází je fyziologické změny spojené s úlekem, který zpětně souvisí s obtěžováním (Bjork 2002). S mírou obtěžování hlukem byly také konkrétně spojeny některé vlastnosti barvy zvuku, například *drsnost, ostrost* (Raggam et al. 2007), *rachocení*¹⁹ (Bradley 1994), *tónovost* či *míra fluktuací* zvuku (Johansson 2000²⁰). Vliv těchto vlastností na obtěžování je stále předmětem výzkumu (Marquis-Favre et al. 2005).

17 Angl. *vexation*

18 Tento rozptyl však lze dát do souvislosti i s dalšími faktory, například těmi zkoumanými v této práci.

19 Angl. *rumble*. V konkrétním výzkumu měřeno obtěžování hlukem ventilace.

20 Vypočtené veličiny; zvuk domácích spotřebičů.

Zdravotní účinky obtěžování hlukem

Obtěžování, jako projev i příčina působení hlukové zátěže na člověka, může ovlivnit zdraví člověka a lze jej také v širším smyslu považovat za přímou zdravotní diagnózu *lidské nepohody* (Job 1996). Projevy obtěžování hlukem byly dány do souvislosti s vlivem na duševní a tělesné zdraví i se zdravotními následky, například v přehledových studiích zabývajících se touto problematikou (např. Babisch 2002). Individuální prožívání obtěžování může působit na zdraví vyvoláním stresové reakce, fyziologické odezvy organismu či zcitlivěním organismu k těmto odezvám a stresorům (viz dále odstavec Stres) (Job 1996). Zdravotní dopady se zpětně odrážejí ve vnímání dlouhodobého obtěžování obyvatel komunit, které je více spojeno s hodnocením obtěžování (Lercher 1996). Z tohoto důvodu někteří autoři uvádějí obtěžování pouze jako průvodní jev hluku, které se zdravotními účinky souvisí pouze nepřímo a tyto účinky vyjadřuje zástupně (Lercher et al. 2008).

Obtěžování vystihuje většinu zdravotních dopadů hlukové zátěže (čehož lze např. využít ve studiích zdravotního dopadu na obyvatelstvo), avšak jako další možné faktory zdravotního vlivu hluku na člověka byly identifikovány také *rušivost*, *obavy* a *strach*²¹ (Kroesen a Schreckenberk 2011). Konstrukt tvořený těmito faktory bývá označován jako *obecná reakce na hluk*²² a může vystihovat zdravotní dopad hlukové zátěže na člověka přesněji než jen samotné obtěžování (*ibid.*).

Stres

Stres je druh reakce organismu, která vzniká působením negativně vyhodnocených situací, mezi které patří i *podmínky prostředí*²³. Tato reakce nastává, pokud *podmínky prostředí* překročí určitou prahovou hodnotu, kterou může být například schopnost organismu se s těmito podmínkami vypořádat (Lazarus 1966). Na míru stresové reakce mají vliv různé vlastnosti podnětů z prostředí, například *složitost*, *informační hodnota* a schopnost působit na retikulárně aktivací systém *rušením*, *vybuzením* či *upoutáním pozornosti*. Míra stresové reakce se také odvíjí od *hodnocení míry rizika*, *předvídatelnosti situace* a *hodnocení osobní kontroly* (Evans a Cohen 1987).

Během stresu dochází k fyziologickým i psychickým změnám. Dochází k aktivaci sympatického nervového systému (sekrece *katecholaminů* z *adrenální žlázy*), ke zvýšení rychlosti metabolických procesů (tvorba *glukózy* a odbourávání *tuků*), ke zvýšení frekvence srdečního tepu, dýchání, svalového napětí, zúžení cév a ke změnám vodivosti kůže (Evans a Cohen 1987, Atkinson 2003). Průběh této reakce může být odlišný pro různé vlastnosti podnětů. Cílem těchto změn je připravit organismus na rychlé příslušné jednání. Tyto změny mají z hlediska běžné funkce organismu při dlouhodobém působení záporné vedlejší účinky a vedou ke zdravotním následkům (Evans a Cohen 1987). Změny mají záporný vliv na *imunitní systém*²⁴, *oběhovou soustavu* i *zažívací ústrojí* a mohou vést k rozvoji *ischemické choroby srdeční*, snížení *obranyschopnosti organismu* a jiným zdravotním následkům. Stres také provází psychologické změny: *afektivní stavy*, *vnímání napětí*, *nervozita*, *změny v chování* (např. snížený altruismus, vyšší agresivita), *změny kognitivních schopností* (snížené schopnosti soustředění, zapamatování a vybavení z paměti, a změny rozhodování) (*ibid.*), *strach*, *stavy úzkosti*, *deprese*, *apatie* či *vzteky* (Atkinson 2003). Při delším působení stresující události dochází k částečné adaptaci, kterou provází *únava*, *z necitlivění*²⁵, *apatie*, či *bezmocnost*. Působení stresujících událostí se sčítá,

21 Obavy o zdraví, letecké havárie, či škodlivost

22 Angl. *general noise reaction*

23 Též *stresory* či *stresující události*

24 Následkem působení kortikosteroidů

25 I vůči novým podnětům, např. z necitlivění ke školní výuce

zejména pokud mají odlišný mechanismus působení, a může také dojít k vyrušení či synergii a znásobení účinku (*ibid.*).

Stresující situace (např. i vystavení jedince hluku) mohou působit dlouhodobě, mohou mít i dlouhodobou *ambientní* povahu (Evans a Cohen 1987, str. 574) a jejich působení ani nemusíme vnímat (*ibid.*). Stres vyvolaný *ambientními stresory* může mít výraznější účinky než stres vyvolaný náhlými událostmi (Lercher 1996).

Stres a hluk

Schopnost hluku vyvolávat stres je zdokumentována mnoha studiemi hlukové zátěže (např. Job 1996). Z tohoto důvodu se zdravotní následky spojené se stresem, uvedené obecně v odstavci Stres, vyskytují i v mnoha oblastech vlivu hlukové zátěže na člověka (viz odstavce Dopady hlukového znečištění, Vliv hluku na zdraví, Zdravotní následky obtěžování hlukem, Nepříjemnost a zdravotní účinky). Ke stresu vede rušení spánku, konkrétní vlastnosti zvuku či nátlak, který vytváří nutnost přizpůsobovat se hlukovým podmínkám. Míra stresu se odvíjí od dostupnosti řešení situace a možnosti se s takovou situací vypořádat (Babisch et al. 2001). Mohou na ni mít vliv *vnímané ohrožení*, *vnímaná kontrola jedince nad okolním prostředím* a *vztah k okolnímu prostředí* (Stallen 1999).

Stres, který vzniká v následku hlukové zátěže byl dán do souvislosti s mírou obtěžování obyvatel hlukem (Job 1996). To může být příčinou i následkem prožívaného stresu (Ouis 2001) a ukazatel obtěžování obyvatel tak lze použít k jeho vystižení (Job 1996). Míra stresu byla také dána do souvislosti s významem zvuku, rušivostí i nepříjemností hluku (jako součást obtěžování např. Gunn a Patterson 1975).

II. Vnímání hluku

Nepříjemnost zvuku

Zvuky mohou u posluchače vyvolat pocity nepříjemnosti, které jsou spojeny s obtěžováním či dalšími účinky hlukové zátěže, a jsou tak významné z hlediska této práce (Kumar 2008, Ellermeier et al. 2004). Pocit nepříjemnosti představuje základní afekt²⁶ při vnímání zvuku, mohou jej však ovlivnit některé asociace a kognitivní procesy a provázet vyšší pocity a citové prožívání (Juslin a Vastfjall 2008). Na základě nepříjemnosti lze oddělit žádoucí podněty od nežádoucích (Bradley a Lang 2000). U zvuku je nepříjemnost jednou z hlavních komponent *jakosti zvuku, jakosti zvukového prostředí i nepohodlí* (Andringa a Lanser 2013, Genuit 2002, Johansson 2000).

Nepříjemnost a nelibozvučnost je vnímána předpozornostně a vyhodnocována na subkortikální úrovni, na základě podkladů dostupných na spodních úrovních sluchové dráhy (Stewart et al. 2006²⁷). Tyto úrovně sluchové dráhy jsou přímo napojeny na limbický systém a amygdalu, např. z *thalamu* a *asociativních korových oblastí* (Kumar et al. 2008). Tento základní afekt na sluchové vjemy je do značné míry nezávislý na zkušenostech (Masataka 2006). Následné citové prožívání však již může být ovlivněno *asociací* vjemu s *následky, emoční nákazou, vybavěním předchozích dějů z paměti* či *očekáváním* (Juslin a Vastfjall 2008). V porovnání s hodnocením jiných pocitů však posluchači u hodnocení nepříjemností zvukových podnětů vykazují poměrně vysokou shodu a tato shoda je v populaci poměrně konzistentní (Koelsch 2005). Nepříjemnost zvuku vyvolávají konkrétní percepční vlastnosti zvuku. Příčiny pocitu nepříjemnosti mohou být poměrně různorodé (Johansson 2000) a lidé také mohou prožívat souběžně pocity příjemnosti a nepříjemnosti (Grabenhorst et al. 2007).

Celkovou nepříjemnost prožívanou v průběhu zvukové události lze vyjádřit průměrnými hodnotami nepříjemností dílčích úseků. Celková prožívaná nepříjemnost odpovídá aritmetickému průměru dílčích hodnocení nepříjemnosti (Geissner a Parizet 2008²⁸).

Vlastnosti zvuku související s nepříjemností

Různé studie odhalily, že na míru nepříjemnosti zvuku má vliv řada jeho vlastností: např. *výška tónu* (Pressnitzer et al. 2000), *přítomnost nízkých frekvenčních složek* (Kumar et al. 2008), *hlasitost* (Waye a Ohrstrom 2002) *impulzní složky hluku*²⁹ či *změny časové obálky* (Morel et al. 2012³⁰). Některé ze studií vlastností zvuku, které způsobují nepříjemnost, užívaly k vyjádření míry těchto vlastností veličiny vypočtené na základě signálové analýzy: např. Ellermeier (2004) uvádí souvislost nepříjemnosti hluku s vypočtenými hodnotami veličin indikujících *drsnost, hlasitost, míru fluktuací* a *ostrost*, Vastfjall (2012³¹) uvádí souvislost s vypočtenými hodnotami veličin pro *hlasitost, míru fluktuací, ostrost, drsnost* a *tónovost*, Raggam et al. (2007) pro *drsnost, hlasitost* a *ostrost*³². Podobné vypočtené indikátory vlastností zvuku uvádí v souvislosti s nepříjemností hluku v interiéru vozidla také Sato et al. (2007). V studiích nepříjemnosti hluku vozidla byla její míra dána do souvislosti s *nízkofrekvenčními modulacemi* (1-16 Hz) a s *energií ve frekvenčním pásmu 2500 - 5500 Hz* (Kumar et al. 2008). Některé výše uvedené vypočtené veličiny vlastností zvuku vysvětlovaly celkovou míru nepříjemnosti hluku lépe, než ukazatele

26 Afekt. Viz dále

27 Nepříjemnost zaujímá nízkou úroveň v hierarchii emocí.

28 Výzkum byl proveden u hluku nákladního auta.

29 Pulzní hluk kladiva byl 100x více nepříjemný než ostatní zvuky (Ellermeier et al. 2004).

30 Studie nepříjemnosti hluku silniční dopravy

31 Zvuky hodnoceny na semantických škálách.

32 Vypočtené veličiny

založené na hladině akustického tlaku (Raggam et al. 2007, Hatoh et al. 2004). S nepříjemností hluku byly dány do souvislosti také vnímané vlastnosti *ječivost* a *vřískavost*³³ (Bergman et al. 2009), *hučení*, *kovovost* a *pískání* (přítomnost tónové složky ve vyšších frekvenčních pásmech) (Hansen 2005).

Vlastnosti zvuku, které souvisejí s nepříjemností hluku, byly také zkoumány v rámci výzkumů kvality zvuku výrobků (např. Hansen et al. 2005, Kuwano et al. 2002, Sato et al. 2007, Ozcan a Egmond 2012). Na hodnocení příjemnosti či nepříjemnosti zvuku výrobku měly vliv: *tichost*, *kulatost*, *hladkost*, *nevýraznost* a *ostrost* (Oczan a Egmond 2012), *měkkost*, *tupost*, *kovovost* a *ostrost* (Kuwano et al. 2002).

Vztah obtěžování a nepříjemnosti

Výše popsané prožívání nepříjemnosti může být jednou z příčin *negativního hodnocení podmínek prostředí* (Guski 1999). Tato vlastnost byla základním faktorem obtěžování hlukem a kvality zvukového prostředí (Andringa a Lanser 2013, Vastfjall et al. 2002). *Nepříjemnost*³⁴ s výraznou shodou uvádějí jako významnou složku *obtěžování* také experti zabývající se obecnou hlukovou problematikou (Guski et al. 1999). Z těchto důvodů je *nepříjemnost* užívána jako veličina vyjadřující míru obtěžování v některých studiích, které se zabývají obtěžováním hlukem (např. Ellermeier et al. 2001)³⁵. *Nepříjemnost* je též hodnocena jako součást *nezkresleného obtěžování* (Ellermeier et al. 2004, Zwicker a Fastl 1999). Uvedená souvislost mezi *obtěžováním* a *nepříjemností* je využita v metodice uplatněné v této práci.

Nepříjemnost a fyziologické reakce

Fyziologické změny jsou též spjaty s prožíváním nepříjemných zvuků. Při poslechu těchto zvuků nastávají změny *vodivosti kůže*, *frekvence mrknutí* či *tepové frekvence* (viz též Stres), které odpovídají úlekové a poplachové reakci. Míra těchto změn odpovídá míře nepříjemnosti zvuků (Bradley a Lang 2000). Tato raná reakce probíhá rovněž automaticky a mimovolně, pokud jsou zvuky vyhodnocené jako ohrožující na základě sluchových informací (např. na základě hlasitosti, drsnosti, proměnnosti apod.) dostupných na spodní úrovni sluchové dráhy, např. na úrovni *inferior coliculus* (Juslin a Vastfjall 2008). Centra rané reakce a autonomního nervového systému jsou se sluchovým aparátem (*sluchová dráha* a *sluchová kůra*) spojeny přímými drahami (*ibid.*). K aktivaci těchto drah dochází samovolně a předpozornostně, např. i u nenarozených dětí³⁶ (Peretz 2008). Tento základní proces nelze vědomě ani nevědomě ovlivnit. V souvislosti s vjemem nepříjemnosti a nelibozvučnosti byl tento mechanismus lokalizován v oblasti mozkového kmene (*kmenový* či *subkortikální* reflex) (Juslin a Vastfjall 2008). Stimulace center rané reakce má následně přímý vliv na změny fyziologické aktivity (např. na sekreci *norepinefrinu* a *serotoninu*) (*ibid.*).

Nepříjemnost a zdravotní účinky

Na vliv dlouhodobého působení nepříjemných hluků na zdraví lze usuzovat přímo, na základě možného přímého vlivu interpretace stavu prostředí na zdravotní stav (Andringa a Lanser 2013) i nepřímo, na základě důkazů o vlivu nepříjemnosti a jí způsobených afektivních stavů na fyziologickou i stresovou reakci, která byla dána do příčinné souvislosti se zdravotními následky hluku (Raggam et al. 2007, Lercher 1996). Zvuky hodnocené jako více nepříjemné vyvolaly

33 Angl. *shrill*

34 Spolu s *rušivostí* a *dráždivostí*

35 Využití ke studiu citlivosti na obtěžování hlukem.

36 Studie nenarozených dětí ukazují např. preferenci konsonance před disonancí

výraznější fyziologické změny podobné stresové reakci než zvuky méně nepříjemné (Raggam et al. 2007). Poslech všech záznamů zvuku ze silniční dopravy, které byly hodnoceny jako nepříjemné, např. provázelo zvýšení srdeční činnosti a průjezdy nejvíce nepříjemných vozidel vyvolaly největší fyziologické změny (*ibid.*).

Afektivní prostor nepříjemnosti

Pocit nepříjemnosti, který provází vnímání zvuku, představuje jednu ze dvou základních emočních ambivalencí: *příjemné – nepříjemné* a *aktivující – uvolňující*, které lze rozeznat ve všech lidských emocích. I když se tato práce emocemi přímo nezabývá, ve výzkumné části využívá poznatků získaných v psychologických studiích o prožívání emocí.

Pojmem *emoce* je v psychologii nazýván „komplexní stav“ jedince „vznikající v reakci na určité afektivně zabarvené zážitky“ (Atkinson 2003, str. 389), který může vzniknout na základě vnějšího podnětu jako reakce na vnější situaci (*ibid.*). Emoční reakcí je jak vnitřní pocit spojený s určitým předmětem prožívání (*zážitek*), tak mimika, řeč těla, aktivita (*chování*) a vnitřní tělesné projevy (*fyziologické změny*). Tyto projevy jsou vzájemně propojené a lze u nich rozlišit složku *tělesnou* (fyziologické změny) a složku *subjektivních prožitků* (*city* a *pocity*) (Plháková 2004). Tělesná složka je analogická autonomní poplachové reakci a souvisí také se stresem (*ibid.*). Tato reakce provází citové prožitky a je zejména výrazná u negativních emocí. *City* představují složitější emocionální prožitky, které vznikají zažíváním *pocitů* a *afektů* na základě vnitřních i vnějších podnětů.

Jako *afekt*³⁷ je označován základní *pocit* spojený s vnímáním sluchových i zrakových podnětů. Jedním z možných afektů je *nepříjemnost* a *příjemnost*. Ucelený výklad struktury vnímání afektu poskytuje *teorie základních afektů*, která byla odvozena z teorie emocí Russell (1983). Dle této teorie mají veškeré afekty komponenty *příjemnosti* a *nepříjemnosti*, též označované jako *valence*³⁸, či *spokojenosti* a *nespokojenosti* (Knez a Hygge 2001). Veškeré existující afekty lze při jejich studiu zobrazit v afektivním prostoru vymezeném pocity valence spolu s vlastnostmi *aktivace – uvolnění*. Afekty vyvolané vnímáním sluchových a zrakových podnětů jsou v tomto prostoru uspořádány podél dvou přímek vycházejících z nízké aktivace a neutrální valence po nepříjemnou nebo příjemnou vysokou aktivaci (Bradley a Lang 2000). Uvedené grafické uspořádání v prostoru má zřejmě příčinu v adaptačním významu afektů a vede k motivaci přiblížit se či utéct (*ibid.*). Pocity *nervozity*, *strachu* a *obtěžování* vznikají postupně s rostoucí aktivací při záporných hodnotách valence (při pocitech nepříjemnosti). V tomto afektivním prostoru mohou být také vymezeny další pocity mající: zápornou valenci a nízkou míru aktivace (*nevýraznost*, *únava*, *znuděnost*, *nespokojenost*, *smutek* a *nepříjemnost*), kladnou valenci a vysokou míru aktivace (*entusiasmus*, *vzrušení* a *euforie*), neutrální valenci a nízkou míru aktivace (*relaxovaný stav*, *klid*, *tichost*, *odpočinek*), neutrální valenci a vysokou míru vybuzení (*překvapení*, *činnosti* a *síly*), kladnou vyšší valenci a střední hodnoty aktivace (*štěstí*, *potěšení* či *spokojenost*, *příjemnost*) (Knez a Hyge 2001). Některé studie základní dimenze afektu navíc rozšiřují o dimenze *strach* a *potence* (Morgan a Heise 1988).

V případě zvuků lze jejich afektivní vlastnosti spojené s vjemem vyvolanými těmito podněty vyjadřovat slovy s afektivním významem (např. *příjemný*, *únavný*) či popisem *prožívaných* pocitů (Vastfjall et al. 2002). Vyjádřené afektivní vlastnosti získané takovýmto hodnocením mají vysokou míru shody s afektivně prožívanými pocity³⁹ (*ibid.*).

Nepříjemnost tvoří spolu s *vybuzením* (aktivací), *příjemností* či *klidem* (uvolněním) také podklad pro citové prožívání vjemů vyvolaných zvukem i hlukem či hlukovou zátěží. Mírou vnímané *nepříjemnosti* a *aktivace* zvuků lze vysvětlit některé aspekty obtěžování hlukem a

37 Afekt (z latinského *affectus*)

38 Též *libost-nelibost*, a *hédonický tón*

39 Těmito způsoby, či měřením úlekové reakce, např. mrknutí oka, lze také měřit míru vybuzení

stresové reakce i preference zvuku (Vastfjall 2002). Nepříjemné zvuky preferujeme pokud mají nízkou úroveň aktivace. Příjemné zvuky preferujeme při vysoké úrovni aktivace. Relativně však vždy více preferujeme příjemné zvuky se stejnou úrovní aktivace. Převážná část přírodních zvuků je příjemných (Vastfjall et al. 2002).

Na míru valence i aktivace mají vliv různé vlastnosti zvuku. Ve studii Vastfjall (2012) se valenční dimenze pojila s vypočtenými psychoakustickými vlastnostmi *drsnost*, *hlasitost* a *přírozenost*, a aktivační dimenze s vlastnostmi *ostroost* a *tónovost*. Dimenze *valence* a *aktivace* nemusí být vzájemně nezávislé. Např. vysoká míra aktivace, která provází *vtíravé* zvuky, může vyvolat pocity nepříjemnosti (Bergman et al. 2009).

Nepříjemnost a *aktivace* narůstá s nárůstem hladiny akustického tlaku, ale tato hladina vysvětluje pouze malý podíl celkové variace v afektivním prostoru (Vastfjall 2002, Vastfjall et al. 2002). Ve studii hluku Vastfjall et al. (2002) bylo možné hladinou akustického tlaku vysvětlit jen 14 procent variability obou uvedených afektivních dimenzí.

Barva zvuku

Jednou ze základních úloh lidského sluchu je analýza zvuku za účelem získání podrobnějších informací o prostředí či zdroji zvuku (Caclin et al. 2005). Působením fyzikální stimulace lidských smyslů vznikají počítky, ze kterých jsou v lidském smyslovém aparátu integrovány jednotlivé vjemy (Syka et al. 1981). Člověk při poslechu zvuku nevnímá pouze úroveň akustického tlaku (v podobě vjemu hlasitosti), ale také další vlastnosti zvuku, například periodicitu (v podobě výšky) či časovou a frekvenční strukturu. Vlastnosti zvuků, které vnímáme za předpokladu *stálé výšky*, *hlasitosti* a *doby trvání zvuku* jsou označovány termínem *barva zvuku*, či *témbr* (např. Pratt a Doak 1976, Norma ČSN IEC 50). Je tak „*spíše možné určit, co barva zvuku není, než co je*“ (Melka 2005, s. 243). Barva zvuku tvoří spolu s dalšími vlastnostmi (hlasitost, výška, doba trvání) podklad pro rozpoznání významu i emočního obsahu a na jejím základě jsme také schopni rozeznávat hudbu, řeč či hluk (Eerola et al. 2012). Barva zvuku tak je podstatnou vlastností pro řadu oborů, které se zabývají zvukem a jeho působením na člověka.

Barva zvuku označuje širokou škálu vlastností zvuku vnímaných při jeho poslechu. Tyto vlastnosti se odvíjejí od fyzikálně-akustických vlastností zvuku a jsou rozpoznávány specializovanými detektory rysů na vzestupné sluchové dráze i v oblastech sluchové kůry (např. oblast *inferior colliculus* či *herschelova závit*) (Syka et al. 1981). Lidé dokáží rozeznávat intenzitu různých vlastností vnímaných podnětů a dokáží také to, co slyší, na různých úrovních obecnosti subjektivně slovně popsat (Caclin et al. 2005). Posluchači také dokáží nezávisle na tomto slovním popisu vyjadřovat vztahy mezi jednotlivými sluchovými vjemy (McAdams 1999). Jejich vhodné míry lze pro účely výzkumu využít k sestavení percepčních prostorů (McAdams a Cunible 1992) Na základě těchto schopností byly popsány některé základní vlastnosti barvy zvuku (např. *úzkost*, *světlost*, *ostroost*) a fyzikálně-akustické zákonitosti a vlastnosti, které s vnímáním barvy zvuku souvisí. Vlastnosti barvy zvuku tak lze u některých kategorií zvuků popsat na základě objektivních kvantit fyzikálně-akustických vlastností, které byly upřesněny na základě pozorování souvislostí mezi subjektivními vlastnostmi zvuku a jejich fyzikálními příčinami v předchozím výzkumu (např. Zwicker a Fastl 1999). Tyto objektivní kvantitativy pak lze za určitých okolností použít jako ukazatele míry určitých vlastností (*ibid.*).

Barva zvuku je v oblasti sluchových veličin „*patrně nejsložitější, nejvíce zkoumanou a nejméně probádanou veličinou*“ (Melka 2005, s. 243). To může být dáno také tím, že vlastností, které souvisí s vnímáním barvy zvuku a kterými lze daný zvuk popsat, je celá řada. Zvuky také mohou mít v různých kontextech vlastností barvy zvuku odlišné vnímané vlastnosti i reprezentace a vlastnosti u stejných zvuků mohou být v různých kontextech nazývány odlišně a mít odlišné významy (Štěpánek a Moravec 2005). Krom uvedených vlastností *světlost*, *tmavost* či *ostroost* mohou z hlediska této práce být významné například vlastnosti barvy zvuku *hrubost*.

bzučivost a křapavost (Štěpánek 2006) či obdoba vlastnosti hlasu *chrapot* (Kreiman a Gerat 1994).

Drsnost zvuku

Drsnost zvuku⁴⁰ je percepční veličina, která označuje vnímané vlastnosti zvuku, které jsou projevem určitých proměn signálu v čase (příčinou je časová struktura proměnnosti daného zvuku). Tímto pojmem jsou souhrnně popisovány *bzučivé*, *drsné* či *skřípavé* vlastnosti zvuku, či *chvění*⁴¹, *tlukot*, *vrčení* (Vasillakis a Kendall 2010), *chrapotění* (Melka 2005), či *hrubost* (Štěpánek 2006). S drsností souvisí též vlastnost *ostrost*, která však představuje vynořující se vlastnost objevující se při společné přítomnosti *drsnosti*, *světlosti* a *úzkosti* (Štěpánek 2006). Drsnost zvuku souvisí s některými afektivními obsahy zvuku, např. s pocitem napětí (v hudbě, ale i u netónových zvuků), nelibozvučností (Pressnitzer et al. 2000) a nepříjemností zvuků (Takao et al. 1993). Může být ale také obohacující složkou zvuku hudebních nástrojů (např. žestě či housle) či pěveckých technik (Namba et al. 1991). K extrakci rysů spojených s drsností dochází poměrně nízkou na sluchové dráze⁴² (DeBaene et al. 2004, Peretz 2008) a drsnost je zřejmě zpracovávána preatentivně (*ibid.*). Drsnost vnímáme také u zvuků hlukového charakteru (Sato et al. 2007⁴³) a tvoří složku hlučnosti (Namba et al. 1991). Vnímaná drsnost narůstá s hladinou akustického tlaku, avšak tato závislost „*není příliš silná*“ (Melka 2005, s. 252) a drsnost tak vnímáme i u zvuků s nízkými hladinami (Fastl 1997).

V současnosti existuje několik modelů drsnosti, které však podávají pouze omezené vysvětlení mechanismů, které drsnost způsobují. Modely, jimiž lze na základě signálové analýzy vyjádřit míru drsnosti, uvádí např. Aures (1985), Daniel a Weber (1997) či Vassilakis a Kendall (2010), Vassilakis a Fritz (2007). Tyto modely však lze užít jen pro omezený rozsah komplexních signálů (Vencovský a Frič 2013).

Vícerozměrnost drsnosti zvuku

Drsnost zvuku je člověk schopen posuzovat odděleně od ostatních současně probíhajících sluchových vjemů (Melka 2005, s. 251). Posluchači obvykle při prvním poslechu vnímají drsnost jako ucelenou vlastnost a mohou ji posuzovat na jedné posuzovací škále (Melka 2005). Drsnost je však zřejmě subjektivně *vícerozměrná* vlastnost zvuků a může mít více reprezentací, které mohou mít odlišné fyzikální příčiny i percepční podoby (Bergan a Titze 2001, Kreiman a Gerat 1994). To se může projevit například určitou neshodou posluchačů při posuzování v důsledku hodnocení odlišných aspektů drsnosti na jediné posuzovací škále. U hluku doposud nebyly jednotlivé percepční podoby drsnosti systematicky studovány a dimenzionalita percepčního prostoru není známa. Také současné modely a z nich vytvořené psychoakustické indexy popisují drsnost jako jednu kvalitu (Vassilakis a Kendall 2010). Toto může vést k omezení prediktivní síly těchto modelů i ukazatelů míry drsnosti z nich vytvořených.

Drsnost zvuku a nepříjemnost

Některé studie závislosti nepříjemnosti či preference zvuku na vlastnostech podnětů poukazují na souvislost *drsnosti* s *nepříjemností* zvuku (např. Raggam et al. 2007⁴⁴, Takao et al. 1993,

40 Angl. *roughness*

41 Angl. *flutter*

42 Informace o drsnosti zvuku je zřejmě k dispozici již na úrovni *inferior colliculus*

43 Drsnost vyjádřená vypočtenou kvantitou fluktuace signálu

44 Regresní a korelační studie, p. 0.00001

Lemaitre et al. 2007⁴⁵, Ellermeier et al. 2004, Vastfjall et al. 2002⁴⁶; drsnost v těchto studiích představovaly převážně vypočtené kvantify získané na základě signálové analýzy). Na vliv drsnosti na nepříjemnost hluku lze také usuzovat na základě vlivu drsnosti (případně ostrosti⁴⁷) na vnímání příjemnosti zvuku a zvukového prostředí (Consel a Botteldooren 2006). S nepříjemností zvuku mohou souviset i některé další vnímané vlastnosti, které s drsností souvisejí, například *nelibozvučnost*, *pocit napětí* (Pressnitzer et al. 2000), *ohrožení*, či *strach* (Raggam et al. 2007). Poslechy drsných zvuků také provázelo zvýšení tepové frekvence (Raggam et al. 2007) a také byly dány do souvislosti se silnější kortikální a amygdalickou reakcí odpovídající pocitům strachu a nebezpečí (Arnal et al. 2015).

Drsnost zvuku přispívá nejen k nepříjemnosti, ale podle některých studií (např. Raggam et al. 2006⁴⁸, Sandrock et al. 2008) i k *obtěžování* hlukem, což odpovídá výše uvedené souvislosti nepříjemnosti s obtěžováním.

45 Veličina změn časové obálky

46 Hluk v interiéru letadla

47 Hodnocení na sémantické škále

48 Obtěžování hlukem z dopravy

III. Letecký hluk

Hluk letecké dopravy

Hluk letecké dopravy tvoří samostatnou výzkumnou oblast hlukové problematiky. Letecká doprava má významný podíl na hlukové zátěži obyvatelstva a hlukové emise jsou spolu s emisemi zplodin a skleníkových plynů hlavním environmentálním vlivem letectví (Antoine a Croo 2005). Hluk podzvukových dopravních letounů zatěžuje prostředí zejména během vzletu a přistání⁴⁹ a největší hluková zátěž tak nastává v okolí letišť (Barber et al. 2011).

Hluk letecké dopravy má specifické vlastnosti, které způsobují, že na stejné hladině akustického tlaku více obtěžuje a má výraznější zdravotní následky než hluk z jiných dopravních zdrojů (silniční a železniční dopravy) (Kucharski 2007⁵⁰). Výzkumy u leteckého hluku dokládají například vyšší podíl osob se zvýšeným krevním tlakem ve srovnání s hlukem ze silniční dopravy při stejných hodnotách L_{den} (Kryter 2009). Rozdíl průběhu obou závislostí je až 10 dB. Uvedené působení může být způsobeno jak odlišnými akustickými vlastnostmi hluku, tak menší dostupností tichých částí budovy ve srovnání s ostatními druhy hluku (*ibid.*)⁵¹. K uvedenému rozdílu by dle autora této práce mohly přispívat též některé vlastnosti barvy zvuku, kterými se zabývá tato práce.

Letadla lze rozlišit na několik kategorií s odlišnými podmínkami hlukové certifikace: Mezinárodní organizace pro civilní letectví rozlišuje *podzvukové proudové letouny*, *vrtulové letouny* (členěny dle maximální vzletové hmotnosti), *nadzvukové letouny*, *vrtulníky* a *letadla se sklopnými rotory* (Letecký předpis č. 525/2007-220-SP/1). V této práci je z důvodů uvedených v kapitole Praktické části zkoumán pouze hluk podzvukových proudových dopravních letounů.

Obtěžování leteckým hlukem

Značnou část pocitů spojených s hlukovou zátěží leteckým hlukem lze popsat obtěžováním (Kroesen a Schreckenberga 2011). V komunitních šetřeních má letecký hluk ve srovnání s ostatními druhy dopravního hluku nejstrmější nárůst míry obtěžování v závislosti na hladině akustického tlaku. Tento rozdíl byl dán do souvislosti s relativně vysokým podílem nízkofrekvenčních složek, s proměnností zvuku (Guski 2004) či rovnoměrnou distribucí hluku uvnitř budov (intenzita leteckého hluku se nemění v závislosti na exponované části budovy a zvuk není možné odstínit jako u silniční dopravy) (Kryter 2009). Možné je i působení dalších faktorů, které v tomto výčtu nejsou uvedeny.

Dle studií komunitního obtěžování v posledních desetiletích relativní míra obtěžování leteckým hlukem narůstá (Babisch et al. 2009, Janssen et al. 2011, Guski 2004). Pozvolný nárůst je znatelný při srovnání komunitních studií obtěžování od 80. let, ovšem k největšímu nárůstu došlo v posledních desetiletích (největší v roce 1996) (Janssen et al. 2011). Ve studiích uvedených v Guski (2004) došlo v měřených lokalitách zatížených leteckým hlukem i přes snížení hodnot L_{Aeq} k významnému nárůstu podílu vysoce obtěžovaných obyvatel. Tento jev je zřejmě způsoben pouze faktory leteckého hluku a nelze jej vysvětlit moderujícími faktory (Janssen et al. 2011). Růst obtěžování byl dán do souvislosti se snižováním hlučnosti letadel při současném růstu četnosti přeletů (snížení počtu tichých období při relativním snížení hlučnosti událostí⁵²), ale také by mohl souviset s některými vlastnostmi leteckého hluku, jejichž percepce

49 Bezprostřední okolí také ovlivňují pozemní pohyby letadel. Při letu v běžné letové hladině nedosahuje hluk u člověka rušivé, či obtěžující úroveň

50 Zejména v rozmezí hladin L_{den} 45-75 dB.

51 Dostupnost tichých částí budovy může snížit počet vysoce obtěžovaných (Ohrstrom et al. 2006)

52 Např. vyjádřeno L_{Aeq}

ní projevy jsou zkoumány v této práci (např. nárůst obtokových poměrů u leteckých motorů a s ním spojený *cirkulárkový* hluk).

Skutečná míra obtěžování leteckým hlukem tak neodpovídá hodnotám predikovaným na základě závislostí stanovených v průměrných (Miedema a Vos 1998, Schultz 1978) i zdrojově rozlišených (EC 2002) standardizovaných křivkách pro obtěžování a je v současné době podhodnocena.

Zdroje emisí leteckého hluku

Hlavními zdroji emisí hluku způsobeného dopravními letouny je obtékání letadla vzduchem (zejména *nosných ploch a podvozku*) a hluk způsobený pohonem (v případě proudových letounů zejména *dmychadlem, lopatkami kompresoru, turbínou a proudem hnaného vzduchu*) (Astley et al. 2007). Dalšími zdroji jsou například vířivé interakce obtékajícího vzduchu s proudem vzduchu za motorem či nerovnoměrné odrazy či stínění akustických vln způsobené plochami letadla. Vlastnosti leteckého hluku i relativní podíl jednotlivých zdrojů na výsledném hluku⁵³ se mění v závislosti na fázích letu. Ve fázi *přistání* převažuje *aerodynamický hluk* kostry a hluk vnitřních částí *pohonné jednotky*, ve fázi *vzletu* v celkovém podílu převažuje hluk *pohonné jednotky* tvořený zejména hlukem *dmychadla a vířivým prouděním* za jednotkou (*ibid.*). Výsledný hluk, který posluchač vnímá při zemi, vzniká interakcí všech složek vyzářeného zvuku.

Hluk pohonné jednotky

Podzvukové proudové dopravní letouny jsou v současnosti vybaveny dvouproudovými leteckými motory (Martens 2002). U dvouproudového motoru část vzduchu, která se podílí na tahu, obtéká studenou nízkotlakou částí motoru vnitřní vysokotlakou spalovací komorou. Palivo je spalováno jen v této komoře a část jeho energie je využita k pohonu nízkotlakého kompresoru (*dmychadla*), který stlačuje vzduch v nízkotlaké části. S vývojem motorů se zvyšuje poměr mezi objemem vzduchu v nízkotlaké a vysokotlaké části motoru. Motory s vyšším obtokovým poměrem dosahují vyšší účinnosti a také nižší hladiny L_{Aeq} . S růstem obtokového poměru však narůstá průměr předního dmychadla i vstupního kanálu⁵⁴ a tím i relativní podíl hluku způsobený dmychadlem a složkami šířícími se z vnitřních částí jednotky. U větších průměrů a kratších délek pláště kanálu⁵⁵ je také širší úhel vyzařování dopředného hluku, přičemž jeho tlumení v přední části je obtížnější (Astley et al. 2007).

U hluku dvouproudových motorů jsou rozlišovány kategorie *tónového hluku* a *širokopásmového šumu* (*ibid.*). Tyto kategorie však nevyjadřují percepční povahu zvuku a představují spíše rozlišení fyzikálních dějů (Beckermans et al 2006). *Širokopásmový šum* má původ v turbulentním proudění uvnitř motoru i v proudě vzduchu za motorem, zejména v oblasti míšení horkého vzduchu z jádra jednotky a studeného vzduchu obtékajícího jednotku (Astley et al. 2007). *Tónový hluk* pochází z dopředného hluku pohonné jednotky, který tvoří *interakční tóny* (hluk vzniklý interakcí proudu vzduchu se statory v kanálu jednotky; ty převažují při nízkých otáčkách motoru, a *rotující tlakové pole*⁵⁶ vznikající v okolí dmychadla (*ibid.*). Tyto složky jsou relativně periodické s periodicitou celistvých násobků základní *frekvence průchodu lopatek*⁵⁷, která se odvíjí od počtu lopatek a úhlové rychlosti rotujících prvků (např. dmychadla⁵⁸). Nelinearity v takovémto tlakovém poli však přidávají další, již *neperiodické subharmonické složky*

53 Hluk vyjádřen hladinou akustického tlaku

54 Angl. *duct*

55 Přední plášť je také se záporným vlivem na hlukové emise zkracován z důvodu úspory váhy (Leylekian et al. 2014).

56 Angl. *rotating pressure field*

57 Angl. *blade passing frequency*

58 Angl. *rotor locked tones*

nižšího řádu (*ibid.*). Při vysokých otáčkách také lopatky dmyhadla překračují rychlost zvuku a následné rázové vlny (zesílené nelineárními jevy v blízkosti dmyhadla) vytvářejí výrazné *subharmonické složky* (*ibid.*). Intenzita i vlastnosti těchto složek se odvíjejí od frekvence průchodu lopatek a mění se s drobnými změnami úhlu lopatek (Siller a Michel 2002). Všechny tyto *periodické, subharmonické, modulované i širokopásmové* složky hluku mají podíl na vlastnostech vnímané barvy hluku a na míře a formách vnímané drsnosti.

Cirkulárkový hluk

Název *cirkulárkový hluk*⁵⁹ je termín popisující hluk, jenž je charakteristický pro letecké dvou-proudé motory ve vysokých otáčkách při vysokém tahu během vzletu (Beckermans et al. 2006). Příčiny tohoto hluku byly dány do souvislosti s interakcí nelineárního akustického vlnění vyvolaného rázovými vlnami nadzvukového pohybu náběžných hran lopatek dmyhadla ve vstupním kanálu motoru. Odtud se zvuk šíří vpřed a představuje hlavní složku hluku dmyhadla při pohybu letadla směrem k posluchači (McAlpine 2007). *Cirkulárkový hluk* je subjektivně zřetelně *rozlišitelný* (Beckermans 2006) a lze jej rozeznat od ostatních hluků letadla (*ibid.*). Tento hluk se vyznačuje větším počtem blízko ležících tónových složek v některých barkových pásmech a také jeho časový průběh není zcela periodický⁶⁰ (důsledek místních odlišností lopatek dmyhadla a interakcí akustických vln ve vstupním kanálu) (McAlpine 2007). Dle obsahu těchto složek byl cirkulárkový hluk popsán ve frekvenční oblasti, a bývá též někdy označován jako *vícetónový hluk*⁶¹. Tyto vlastnosti se mohou projevit na výsledném zvuku různými druhy drsnosti (Zwicker a Fastl 1999). V literatuře je však cirkulárkový hluk popsán pouze fyzikálně a popis jeho percepčních vlastností či souvislosti s hlukovou zátěží autor této práce v dostupné literatuře nenalezl, i přesto, že je tento hluk předmětem výzkumu.

Problematickou *cirkulárkového* hlukem se zabývali například Paliath et al. (2010)⁶² i McAlpine et al. (2006), Gorj-Bandpy a Azimi (2013). Za současných předpokladů vývoje leteckých motorů nelze předpokládat vyloučení této složky hluku⁶³ (McAlpine et al. 2007). Ale postupy vedoucí alespoň k částečnému snížení tohoto hluku jsou předmětem zájmu výrobců leteckých motorů (*ibid.*). Některé složky lze například pohlit optimalizací pláště vstupního kanálu (McAlpine 2006, Siller a Michel 2002).

Záznamy v této práci zkoumají hluk letadla během vzletu v časovém úseku během nějž lze předpokládat přítomnost složek cirkulárkového, tónového i širokopásmového hluku.

Hluk pohonné jednotky typu *propfan*

Vývoj leteckých motorů směřuje k otevřeným rotorům (*propfan*), jejichž implementaci lze v blízké budoucnosti předpokládat (Nalianda et al. 2015). Tyto motory vykazují větší efektivitu a nižší váhu než současné letecké motory (*ibid.*). Jednou z technických výzev spojených s těmito jednotkami je jejich hlučnost. Hluk z těchto motorů, zejména s protiběžně rotujícími lopatkami, má relativně ještě větší schopnost obtěžovat posluchače než současné jednotky. Charakter tohoto zvuku popisuje Perakis et al. (2013) jako *drsný* a uvádí, že tato vlastnost by měla být zohledněna v certifikačním procesu leteckých motorů (*ibid.*).

59 Angl. *buzz saw noise*.

60 Aperiodicita je důsledkem

61 Angl. *multiple pure tone*

62 Šíření cirkulárkového hluku vstupním kanálem motoru

63 Konstruktivní řešení, které jej způsobuje, je výhodné z důvodu účinnosti a hospodárnosti motorů.

Hluk vrtulových letadel

Hluk turbovrtulových, vrtulových a proudových letadel je percepčně i fyzikálně odlišný (Maggliozzi et al. 1991). Ve srovnání s proudovými letadly u hluku vrtulových letadel převažuje energie v nízkých frekvenčních pásmech a chybí některé vysokofrekvenční, tónové a šumové složky (*ibid.*). Výzkum v této práci je níže uvedených důvodů omezen pouze na proudová letadla.

Na letišti Václava Havla v Praze, v ose jehož dráhy probíhaly záznamy, platí trasy vymezené ve *standardním přístrojovém odletu*⁶⁴. Dodržení těchto tras je stanoveno v letecké informační příručce pouze pro proudová letadla⁶⁵ (ÚCL 2016). Dle této příručky není povolen odklon od *standardního přístrojového odletu* v ose vzletové a přistávací drah dříve než 11.4 km od prahu dráhy 06 (směr Unhošť) a 9.5 km od prahu dráhy 24 (směr Suchdol). Toto omezení však neplatí pro *vrtulová* letadla. V místě, které bylo zvoleno k záznamům, tak tato letadla již nemusí sledovat osu vzletové dráhy a k jejich přeletům během vzletu dochází v lokalitě Unhošť a Suchdol jen ojediněle. Vzlety *vrtulových* letadel je tak v těchto lokalitách obtížné opakovaně zaznamenat. Zároveň tvoří výraznou složku hlukové zátěže obyvatel, spojené se vzletem v těchto lokalitách. Výzkum v této práci je proto zaměřen pouze na proudová letadla. Toto rozhodnutí bylo učiněno také proto, že přítomnost různých kategorií zvuků ve stejné sadě podnětů by v poslechovém testu mohla vést ke kategorickému vnímání zvuků.

Hlukové certifikační standardy

Nové druhy letadel musí být certifikovány z hlediska hlukových emisí (ÚCL 2007). Limitní hodnoty jsou stanoveny v příloze *Úmluvy o mezinárodním letectví*⁶⁶; českém prostředí jsou uvedeny v leteckém předpise L16/1 (Letecký předpis č. 525/2007-200-SP/1). V této příloze je podrobně popsán postup, kterým by měly být hlukové emise měřeny, podmínky měření a definována metrika EPNL (*efektivně vnímaná hladina hluku*). Ve metodice jsou stanoveny *režimy letu* (rychlost, tah motorů) a *referenční místa* měření. Tato místa jsou definována pro *vzlet, přelet* a *přiblížení*. Tato místa jsou odlišná pro jednotlivé kategorie letadel. Hluk proudových letounů je měřen: 1) při *vzletu* za plného výkonu v bodech vzdálených 450 m mimo osu letu a při *sníženém výkonu* (80%) v ose dráhy ve vzdálenosti 6500 m od výchozího prahu dráhy, 2) při *přiblížení* v úhlu 3° ve výšce 120 m. Tato místa byla stanovena dle profilů průběhu hladiny akustického tlaku v daných režimech letu (*ibid.*). Certifikační systém motivuje výrobce k volbě vhodných opatření ke snižování emisí hluku (pro výrobce také mohou být směrodatná některá další opatření, zejména v zemích, ve kterých se nachází uzlová spojení) (Leylekian et al. 2014).

Snížení emisí leteckého hluku

Hlukové emise zdroje mohou snížit určitými úpravami výrobci letecké techniky (viz např. Astley et al. 2007, Leylekian et al. 2014). Aerodynamický hluk lze snížit zdokonalením *obtékání* (např. nosných ploch⁶⁷ či podvozků). Hluk vyzařovaný z předu pohonné jednotky lze snížit *akustickými prvky* ovlivňujícími šíření vln ve vstupním kanálu před dmychadlem, např. pohltivou *hexagonální strukturou* (Jones et al. 2002), prodloužením *spodního okraje* vstupního kanálu⁶⁸ či optimalizací geometrie *lopatek*. Hluk způsobený interakcí *statorů s proudem vzduchu* lze snížit umístěním prvků měnících tok vzduchu v obtokovém kanálu či optimalizací tvaru a

64 *Standardní přístrojový odlet* je stanovený postup pro odlet (ÚCL 2016)

65 Dodržení odletových tras představuje protihlukové opatření

66 Hodnoty jsou stanoveny v příloze 16 a podléhají pravidelné aktualizaci

67 Např. aerodynamickými plůtky

68 Vypočítávají se pro specifické parametry a otáčky motoru

geometrie *statorů*. Hluk vznikající interakcemi v proudu plynů v zadní části motoru lze snížit úpravami tvaru a geometrie výstupní oblasti motoru. Hluk lze také snížit odstíněním hlučných prvků⁶⁹.

Výrobci tato opatření posuzují z hlediska přínosu, který mají v certifikačním procesu na snížení hladin akustického tlaku. Například úplné odstranění *tónového hluku* dmychadla, by vedlo ke snížení hladiny hluku EPNL o 1.5 či 3 dB (Gliebe 1996, Astley et al. 2007). Snížení obtěžování hlukem však může být dle hypotézy této práce větší, než vyjadřuje tento podíl hluku na hladině akustického tlaku.

Jednou z dalších možností snížení *emisí* i *emisí* hluku mohou být úpravy *provozních postupů*. Tyto metody mohou být využity pro přistání i vzlet (např. pozvolné přiblížení⁷⁰, vyšší úhel sestupu, přiblížení s nízkým výkonem motoru; postupy pro snížení hluku při odletu, např. úpravou rychlosti a stoupání). Dalšími metodami mohou být metody prostorového managementu a řízení letových drah⁷¹ (úprava příletových a odletových tras, řízení rozptylu letových tras či upřednostnění určitých vzletových a přistávacích drah) (ICAO 2007). Tato opatření jsou v současné době praktikována například na letištích *Frankfurt nad Mohanem*, *San Francisco* či *Luton* (*ibid.*).

69 Např. umístění pohonné jednotky nad křídlo

70 Angl. *continuous descent arrival, modified approach angles*

71 Angl. *trajectory management*

IV. Indikátory kvantifikující hlukovou zátěž

Opatření ochrany před hlukem

Evropská agentura pro životní prostředí rozlišuje *právní, technická a informační* opatření ochrany před hlukem. Mezi tato opatření mohou patřit řízení *emisí, přenosu hluku a imisí* (např. formou expozičních limitů, regulace a plánování), *monitoring* akustického prostředí i *vzdělávání* dostatečného množství expertů na hlukovou problematiku (EEA 2010, WHO 1999). Opatření v *imisní* oblasti mohou mít povahu požadavků na hlukovou expozici člověka (např. hygienickými hlukovými limity, požadavky na vlastnosti budov, hlukovým mapováním, vyhlášením tichých oblastí), opatření v *emisní* oblasti mohou mít povahu požadavků na hlučnost výrobků či zařízení. Hluková zátěž může být také regulována úpravou provozních podmínek (např. letišť). U *emisí* i *imisí* leteckého hluku mohou mít opatření podobu např. regulace letových drah, užití dodatečných metrik (Porter et al. 2014), upřednostnění vhodnějších vzletových a přistávacích drah nebo závazků k financování protihlukových opatření. Tato opatření mohou být stanovena závaznými způsoby či mohou mít dobrovolnou povahu. Příkladem dobrovolné aktivity může být dohoda představitelů *Barcelonského letiště* s obyvateli *Gava de Mar* o změně rozložení zatížení dráhového systému (Sanchez et al. 2011). V oblasti leteckého hluku spadají opatření do kompetencí vládních či místních subjektů a *Mezinárodní organizace pro civilní letectví* OSN, která stanoví *hlukové standardy* (stanovení maximálních *hladin hluku*) a také některá imisní opatření (územní plánování, provozní postupy) (Antoine a Kroo 2005).

Hlukové emise civilních letadel jsou mezinárodně upraveny v *Úmluvě o mezinárodním letectví* (Úmluva č. 147/1947 Sb.). Některá opatření také mohou zavádět výrobci, letiště či provozovatelé. Organizací sdružující tyto subjekty je např. *Poradní výbor pro aeronautický vývoj v Evropě*. Tato organizace sdružuje subjekty průmyslu a státní sféry (výzkumné ústavy, výrobce, členské státy, evropskou komisi či letiště). Jedním z cílů stanovených touto organizací je snížení hlukových emisí.

Legislativní úprava v evropských zemích

Snížení hlukové zátěže obyvatel je jedním z cílů sedmého *všeobecného akčního programu Evropské unie* (Rozhodnutí č. 1386/2013/EU). Ochrana před zátěží člověka i životního prostředí hlukem je v evropském právu „zabezpečena v rámci zdravotní politiky i politiky ochrany životního prostředí“ (Dudová 2013, s. 34), například jako *ochrana před vlivy na zdraví lidí* či *zlepšování kvality života* (Směrnice č. 2011/92/EU, s. 2). Ochrana veřejného zdraví je přitom chápána jako „odstraňování příčin ohrožení tělesného a duševního zdraví, ochrana a zlepšování kvality životního prostředí“ (Dudová 2013, s. 34). Za zdravotní dopad je tak považováno i *obtěžování* a *rušení spánku* (Wolde a Rijkelaan 2002). Problematika hlukové zátěže je upravována několika směrnicemi⁷², a motorová vozidla, vlaky, lodě, letadla či další vybavení jsou dále předmětem *nařízení* a *směrnic*, které specifikují prahové hodnoty emisí pro dané výrobky⁷³ (pro podrobnější přehled viz např. Wolde a Rijkelaan 2002, s. 5).

Hlavní směrnici, která upravuje problematiku zátěže obyvatel hlukem v prostředí, je směrnice *o hodnocení a řízení hluku ve venkovním prostředí* (Směrnice č. 2002/49/EC). Ve směrnici jsou stanoveny některé způsoby ochrany, pravidla, procedury, ukazatele a principy, dle kterých by mělo omezení hlukové zátěže probíhat⁷⁴, nejsou však uvedeny maximální pří-

⁷² Např. Směrnice č. 2002/49/EC, Směrnice č. 2000/14/ES, Směrnice č. 2011/92/EU a Směrnice č. 2003/10/EC (Posledně uvedená směrnice upravuje hluk v pracovním prostředí)

⁷³ Pro letecký hluk např. Směrnice č. 89/629/EEC či Směrnice č. 92/14/EEC

⁷⁴ Například na základě hodnocení přínosů a nákladů

pustné hodnoty ani závazné metody stanovení těchto hodnot na národní úrovni. Členské země se tak liší svými indikátory, mezními hodnotami i podobou opatření (Dudová 2013). Předmětem směrnice jsou nástroje regulace hlukového znečištění a monitoring míry vystavení populace hluku (strategické hlukové mapy, akční plány, tiché oblasti a vzdělávání veřejnosti).

Strategické hlukové mapy jsou nástrojem pro odvození míry hlukové zátěže obyvatel, jejího hodnocení a dalšího plánování. Mapy jsou vytvářeny pro stanovené aglomerace, silnice, železnice a letiště⁷⁵. Mapovanými parametry jsou L_{den} a L_{noc} . Tyto hodnoty mohou být přímo měřeny nebo vypočteny z údajů o zdrojích. Hodnoty expozice budov jsou stanoveny vždy pro nejvíce exponovanou stranu.

Akční plány jsou nástrojem akustického plánování využití území a zvukově izolačních opatření. Plány obsahují stanovené položky (např. určení problematických míst) a popis plánovaných opatření pro pětileté období, po jehož uplynutí musí být aktualizovány⁷⁶. Strategického plánování by se měla také účastnit veřejnost. V procesu vzniku akčních plánů by měly být připomínky veřejnosti vzaty v úvahu. Předpokládané vlivy na člověka a hlukové emise musí být popsány také při *posuzování vlivů některých veřejných a soukromých záměrů na životní prostředí* (Směrnice č. 2011/92/EU). Posuzování podléhají např. letiště⁷⁷ a záměry změny či výstavby letišť (*ibid.*). Hodnocení těchto vlivů vyžaduje výpočet hodnot zátěže obyvatel hlukem i budoucího vývoje této zátěže.

Z hlediska hluku z letecké dopravy je také významné nařízení *o pravidlech a postupech pro zavedení provozních omezení ke snížení hluku na letištích unie* (Nařízení č. 598/2014), které představuje snahu o harmonizaci postupů pro ustanovení provozních omezení na letištích. Z hlediska této práce může být podstatné, že nařízení uvádí jako cíl těchto omezení „zachování nebo zvýšení kvality života občanů“ (Nařízení č. 598/2014, s. 1)

Úspěšnost metod posuzování záměrů s vlivem na životní prostředí i hlukového mapování se odvíjí od schopnosti kvantifikovat vlastnosti zvuku, který hlukovou zátěž způsobuje. Vhodnost užití doplňkových indikátorů a možnost revizí budoucích vztahů mezi dávkou a účinkem je uvedena i ve směrnici č. (2002/49/EC). Potřebu hledat nové ukazatele uvádějí i další mezivládní dokumenty (Rozhodnutí č. 1386/2013/EU, EC 2002, WHO 1999). Účelem výzkumu v této práci je také přispět k hledání upřesněných ukazatelů v odpovědi na tyto potřeby.

Kritéria změny legislativy

Kritériem legislativního stanovení standardů a regulací na ochranu zdraví člověka by mělo dle současné právní úpravy hodnocení zdravotního rizika (Dudová 2013). Hodnocení zdravotního rizika je proces vyjádření míry závažnosti poškození lidského zdraví konkrétním faktorem. Tento proces obnáší hledání příčinných vztahů na základě průkazných studií a hodnocení míry nejistoty. Na počátku všech regulací je tak vždy nezbytný vědecký přístup a úsudek (*ibid.*).

V konečném stanovení opatření by měla platit *zásada předběžné opatrnosti*⁷⁸ a *zásada upřednostnění zájmů ochrany zdraví před ekonomickými zájmy* (*ibid.*). Také k užití principu předběžné opatrnosti je třeba zhodnotit rizika a potenciální újmu, avšak i v této fázi je nezbytná prvotní vědecká práce (Babisch 2002).

75 Aglomerace: více, než 100 000 obyvatel. Silnice: více, než 6 milionů průjezdů za rok. Železnice: více, než 60 000 průjezdů za rok. Letiště: více, než 50 000 pohybů za rok.

76 Obnova je také vyžadována při výrazných změnách.

77 Letiště s vzletovou a přistávací drahou delší než 2100 m

78 V české právní úpravě hlukové problematiky však není možnost využití zásady předběžné opatrnosti zcela implementována (Dudová 2013).

Legislativní úprava v České republice

Hlavními prameny právní úpravy hluku v prostředí v České republice jsou *zákon o ochraně veřejného zdraví*⁷⁹ (Zákon č. 258/2000 Sb.) a *nařízení vlády o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací*. (Nařízení č. 272/2011 Sb.) Tyto právní normy uvádějí metodiky měření, druhy prostředí a nejvyšší přípustné hodnoty hlukové expozice (imisní limity hluku a vibrací) v pracovním, venkovním a vnitřním prostředí. Uvedené hodnoty musí dle zákona původci hluku⁸⁰ dodržovat.

V české právní úpravě je ochrana před hlukem pojata zejména jako ochrana *zdraví člověka, veřejného zdraví*⁸¹ a *zdravých životních podmínek*⁸². Vlivem na zdraví je také vymezen pojem hluk a nejvyšší přípustné hodnoty, které by měly být stanoveny tak, aby „*nebylo ohrožováno zdraví lidí*“⁸³ (paragraf 12 zák. č. 17/1992 Sb. *O životním prostředí*). V případě nejistoty ohrožení zdraví by měla platit zásada předběžné opatrnosti (Dudová 2013).

Hluková problematika je zohledněna také v legislativě týkající se územního plánování⁸⁴, civilního letectví a posuzování vlivu na životní prostředí (*ibid.*) Posuzování vlivu na životní prostředí (Zákon č. 100/2001 Sb.) vyžaduje posouzení a hodnocení vlivů na zdraví a zdravotních rizik včetně hlukové zátěže. U hlukové zátěže zákon také stanoví potřebu posouzení některých kvalitativních aspektů, včetně *povahy a rozsahu* hluku. Dalšími právními normami, které souvisejí s hlukovou oblastí jsou například *Zákon č. 76/2002 Sb. (o integrované prevenci a omezování znečištění)*, *Vyhláška č. 523/2006 (o hlukovém mapování)*, *561/2006 (seznam aglomerací pro hodnocení a snižování hluku)* a jiné, průřezové právní úpravy (Dudová 2013).

Podmínky měření hluku ve vnějším prostředí a měřené hodnoty jsou stanoveny s odkazem na harmonizované normy v *metodických návodech*, např. v *metodickém návodu pro měření a hodnocení hluku v mimopracovním prostředí* (Metodický návod č. HEM-300-11.12.01-34065), a *metodickém návodu pro letecký hluk* (Metodický návod č. OVZ-32.0-19.02.2007/6306). V metodickém návodu pro letecký hluk jsou stanoveny požadované veličiny pro letecký hluk: *ekvivalentní hladina akustického tlaku* L_{Aeq} , *distribuční procentní hladiny akustického tlaku* L_{AN} ($L_{A1} - L_{A95}$), *hladina zvukové expozice* L_{AE} a *maximální hladina akustického tlaku* (L_{Amax}).

Ukazatele hlukové zátěže

Fyzikální a subjektivní děje, například hluková zátěž, většinou představují komplexní jevy. Účelem *ukazatelů* je vyjádřit podstatné informace o těchto komplexních dějích vyjádřitelnou hodnotou. Veličina ukazatele by tedy měla co možná nejlépe vyjadřovat popisovaný děj, ale zároveň by také měla splňovat další požadavky, které souvisejí s praktickým využitím ukazatelů (Murphy a King 2010). U indikátorů hlukové zátěže např. *snadnost měření, spolehlivost, vhodnost pro různé druhy zvuků, souvislost se zdravotními dopady a zřetelná indikace prahové hodnoty* (Passchier-Vermeer a Passchier 2000). Ukazatele lze rozlišit na objektivní a subjektivní (Naish et al. 2011). Subjektivní ukazatele jsou založeny na veličinách subjektivní povahy, např. rušení spánku či vnímané obtěžování. Objektivní ukazatele jsou založeny na zástupných fyzikálních veličinách, které zástupně vyjadřují subjektivní jevy (např. míru obtěžování) (*ibid.*).

79 Díl 6 *Zákona o ochraně veřejného zdraví* (Zákon č. 258/2000 Sb.)

80 Pod hrozbou sankce. V případě leteckého hluku má tuto povinnost provozovatel letiště.

81 Veřejné zdraví je dle zákona „*zdravotní stav obyvatelstva a jeho skupin*“ (Zákon č. 258/2000 Sb.)

82 Ochrana životního prostředí je zohledněna pojetím mezních hodnot v zákoně č. 17/1992 Sb. (Dudová 2013)

83 Problematiku stanovení mezních hodnot upravuje zákon o životním prostředí (Dudová 2013). Úplné znění: „*Aby nebylo ohrožováno zdraví lidí, organismů a dalších složek životního prostředí*“ (Zákon č. 17/1992 Sb.).

84 V souvislosti s územním plánováním uvádí Dudová (2013) pojem *pohoda bydlení*.

Metriky hlukové zátěže

V současnosti užívané ukazatele hlukové zátěže užívají k vyjádření míry hlukové zátěže převážně hladinu akustického tlaku a její vývoj či průměr v čase⁸⁵ (Cvetkovic a Prascevic 2000, Marquis-Favre et al. 2005, Murphy a King 2010). Uvedenou veličinu obsahují také ukazatele užívané v legislativních opatřeních (*ibid.*). Užívané ukazatele lze rozlišit na ukazatele využívající průměrnou akustickou energii⁸⁶ v určitém období, její změnu či procentní rozložení hladiny akustického tlaku⁸⁷. Některé indikátory také využívají i další neakustické informace. Ukazatele založené na hladině akustického tlaku se vzájemně liší způsobem vážení, metodami výpočtu hodnot, zohledněním času a časového vývoje, četností událostí, frekvenčních či jiných vlastností zvuku (Cvetkovic a Prascevic 2000).

Následující odstavec představuje pouhý přehled ukazatelů, které lze užít k popisu hlukové zátěže hlukem v prostředí. Plné znění metod výpočtu a další vlastnosti ukazatelů lze dohledat v příslušných normách či dokumentech; přehled indexů a metrik hlukového znečištění viz např. Marquis-Favre et al. (2005) či Pronello a Camusso (2012).

Základními ukazateli hodnot akustické energie⁸⁸ hluku (Norma ČSN EN ISO 3744) jsou *ekvivalentní hladina akustického tlaku* L_{Aeq} (průměrná hladina akustického tlaku za určitou dobu), *minimální a maximální hladina* (L_{Amin} L_{Amax}) (vážená maximální a minimální hladina akustického tlaku), *percentilová hladina*, například L_{50} , L_{90} (hladina, která byla překročena s četností 50% a 90% a *hladina zvukové expozice* (L_{AE} , SEL) (celková energie události). Složitějšími ukazateli jsou složené ukazatele L_{den} , L_{day} , L_{night} či L_{dn} (průměry vážené hladiny akustického tlaku s dodatečnými korekcemi⁸⁹). Tyto ukazatele jsou užívány ke kvantifikaci hlukové zátěže⁹⁰, k územnímu plánování i mapování (Fidell 2003, Kryter 2009).

Řada dalších ukazatelů byla vytvořena pro konkrétní druhy hluku a vystihuje dodatečné parametry zvuku (Porter et al. 2014, Pronello a Camusso 2012). Mezi tyto ukazatele patří například *hladina zatížení hlukem* (NPL) a *index dopravního hluku* (TNI) (pro hluk silniční dopravy; vystihuje průběh hladin akustického tlaku v čase), *hladina provozní expozice* (TEL⁹¹) (pro hluk železniční dopravy; vystihuje délku průjezdu vlaku), *ekvivalentní hladina hluku okolního prostředí* (CNEL⁹²) a *index události na osobu* (PEI). K vyjádření hluku letecké dopravy slouží například *vnímaná hladina hluku* (PNL⁹³) (vystihuje hladinu akustického tlaku, tónové, impulzní a frekvenční vlastnosti signálu⁹⁴) či *vážený ekvivalent hladiny rušivosti hluku* (WECPNL) (ukazatel doporučen ICAO, vystihuje hladinu akustického tlaku v třetinooktávových pásmech a frekvenční vlastnosti signálu). Z vnímané hladiny hluku byly také odvozeny další ukazatele: *efektivní hladina vnímaného hluku* (EPNL) (vystihuje dobu trvání a proměnné charakteristiky zvuku) či *předpověď hlukové zátěže* (NEF).

Ukazatele využívající procentní hladiny akustického tlaku jsou například L_{A10} či index CRTN využívaný u hluku silniční dopravy⁹⁵. Tyto ukazatele vyjadřují hladinu, k jejímuž pře-

85 V ČR je stanoveno užití metody *Fast* s integračním intervalem 125 ms.

86 Angl. *energy based*

87 Angl. *statistical*

88 Akustická energie pro jednotlivou zvukovou událost je vypočtena z akustického výkonu a doby, po kterou existovala. Akustický výkon vyzařovaný daným zdrojem do zkušebního prostředí je vypočítán ze střední kvadratické hodnoty akustického tlaku, který je měřen přes hypotetickou měřicí plochu obklopující zdroj, a plošného obsahu této plochy (Smetana et al. 1998).

89 Korekce L_{dn} -10dB v nočních hodinách, L_{den} také -5 dB ve večerních hodinách

90 L_{dn} , L_{max} například užíván ve Spojených státech, L_{den} , Evropských zemích.

91 Angl. *transit exposure level*

92 Angl. *community noise equivalent level*

93 Angl. *perceived noise level*

94 Energie v třetino-oktávových pásmech

95 Užíván např. v Irsku či Velké Británii.

kročení došlo během určitého intervalu⁹⁶ s procentní četností udávanou v indexu. Podobný přístup také představují ukazatele vyjadřující počet událostí (Bartels et al. 2015), např. ukazatel *počet událostí nad prahovou hodnotou* NAT_x (např. 70 dB_(A)). O počtu hlukových událostí mohou také vypovídat ukazatele procentních hladin, např. zmíněná L_{A10} (Naish et al. 2011). Počet lidí vystavených určitým hodnotám hluku na základě demografických údajů pak mohou vyjadřovat ukazatele počtu vystavených osob využívajících neakustické informace.

Uvedené indikátory by měly v návaznosti na své využití vystihovat vlastnosti obtěžování, rušivost, či reakce na hluk, míra rušení spánku či vliv na duševní a tělesné zdraví (Kroesen a Schreckenberga 2011). Tyto souvislosti jsou stanoveny na základě vztahů mezi dávkou a odpovědí (viz též úvodní kapitola). Určité ukazatele tak mohou být vhodné pouze pro určité oblasti užití, např. L_{den} je využíván jako indikátor míry obtěžování, ale nelze jej použít k vyjádření míry rušení spánku (Vallet 2008).

Korekce

Určité nevyjádřené vlastnosti lze u uvedených indikátorů vystihnout *korekcemi*, *zvýhodněním* i *vážením* výpočtu hodnot či mezihodnot (Pronello a Camusso 2012, Schomer 2002). Systém *korekcí* slouží k zahrnutí dalších vlivů, které nejsou měřenou veličinou vyjádřeny, ale mají vliv na vystihované vlastnosti (Schomer 2002). Podobným způsobem lze též *vážít* i proměnné při výpočtu ukazatele (např. dle kategorie hluku; Kucharski 2007). Korekce se užívají pro zlepšení schopnosti ukazatele zahrnout faktory denní doby či tónových složek (tyto korekce se též používají v české právní úpravě). Byly rovněž navrženy hodnoty korekcí na nízkofrekvenční složky hluku u ukazatele L_{den} na impulzní a tónové složky, vibrace, roční období, denní hodinu i umístění (např. pro venkov) v rozmezí 5-12 dB u ukazatele L_{dn} (účelem těchto korekcí je snížit rozptýl hodnot míry obtěžování) (Schomer 2002, Pronello a Camusso 2012). Kryter (2009) navrhuje hodnoty pro korekce ukazatele L_{dn} vůči faktorům větrání okny v letních měsících a odlišný útlum zdrojů se vzdáleností (např. až 22 dB L_{dn} v pásmu 50-70 dB; 6 dB L_{dn} na vliv odlišných faktorů útlumu leteckého hluku a 2 dB korekce pro letní měsíce). Zároveň navrhuje ukazatel EDNL, který tyto faktory vystihuje ve výpočetním vzorci.

Alternativní ukazatele

Přímo měřené fyzikální veličiny akustického tlaku nezahrnují řadu psychologických závislostí vnímání zvuků a fyziologických vlastností sluchového aparátu. Jedním z přístupů zahrnutí těchto jevů do výpočtu hodnot ukazatelů jsou *psychologicky adekvátní veličiny* vytvořené na základě empirických výzkumů (Zwicker a Fastl 1999). Jednou z takto odvozených veličin, které byly ověřeny v oblasti ukazatelů hlukové zátěže je např. *hlasitost*⁹⁷ (*ibid.*). *Hlasitost* představuje veličinu odvozenou na základě závislosti vnímání hlasitosti lidským sluchem, která může za určitých podmínek vystihovat subjektivní vjem hlasitosti. Existuje více metod výpočtu, například metoda uvedená Zwicker a Fastl (1999; L_n) či Stevens (1972). Tato veličina je založena na závislosti vnímané hlasitosti na rozložení energie v tzv. kritických pásmech a dle některých výzkumů vystihuje míru obtěžování lépe než vážená hladina akustického tlaku (Nilsson 2007).

Mimo *hlasitost* jsou vyvíjeny také některé *psychoakustické indexy*, které mohou objektivně vyjádřit míru subjektivních vlastností. Byly například publikovány metody výpočtu indexů *drsnosti*, *hlasitosti*, *ostrosti* či *světlosti* (Peeters et al 2011). Vzorec pro výpočet veličiny, která odpovídá *ostrosti*, či *drsnosti* uvádí např. Zwicker a Fastl (1999). Na základě těchto indexů byly vytvořeny ukazatele, vystihující komplexní vlastnosti zvuku (např. *senzorická příjemnost* (Aures 1985b). Tyto psychologické ukazatele jsou založeny na empirických poznatcích o vzta-

96 Užívána např. 1 hodina, či 12 hodin.

97 Angl. *loudness*

zích mezi fyzikálními vlastnostmi zvuku a vnímanými vlastnostmi (*ibid.*) a lze je v současnosti bez další srovnávací studie s omezenou přesností použít jen pro druhy zvuků, na kterých byly ověřeny (Bodden 1997). Žádné z těchto indexů zcela nepopisují všechny aspekty vnímání a také nezohledňují binaurální povahu slyšení (*ibid.*). Jejich výzkum stále probíhá a poznatky uvedené v této práci by mohly k těmto výzkumům přispět.

Zlepšit vlastnosti stávajících ukazatelů posuzování hlukové zátěže také může: *individuální posuzování hluku* dle vlastností a jejich *kategorizace*, např. dle charakteristik zdroje (Borst a Miedema 2005⁹⁸, Morillas et al. 2005), vystižení subjektivních křivek nepříjemnosti pro hlukové události v určité lokalitě (ukazatel *globální* nepříjemnost) (Defreville et al. 2007) či doplňování popisu hluku nějakými dodatečnými charakteristikami⁹⁹, které by umožňovaly zpětně lépe pochopit mínění respondentů, význam ukazatelů a vlastnosti hluku.

Vztahy mezi dávkou a odpovědí

Závislosti odezvy na dávce jsou empiricky získané vztahy popisující souvislost mezi zátěžovým faktorem a mírou reakce organismu na tento faktor. U hlukového znečištění představuje zátěžový faktor hluková zátěž či hluková expozice a reakci organismu představuje obtěžování hlukem, či zdravotní následky s touto zátěží, či expozicí, spojené. Tyto faktory jsou vyjádřeny veličinami zástupných ukazatelů. U hlukové zátěže jsou závislosti na dávce stanoveny např. na základě hodnot procentního *podílu vysoce obtěžovaných*¹⁰⁰, *počtu stížností* či *ukazatele L_{den}* , získaných z datových sad z terénních výzkumů (Schomer 2002). Souborem hodnot těchto veličin lze statistickou metodou proložit *křivku závislosti na dávce*. Tyto křivky jsou následně užívány k výpočtu a vyjádření expozičních závislostí uvedených veličin a k vyjádření reakce populace na úroveň hlukové zátěže (Fidell 2003, EC 2002). Na základě vztahů popsanych těmito křivkami byly stanoveny podklady pro opatření v některých zemích (Miedema a Oudshoorn 2001). Závislost hlukové zátěže na obtěžování obyvatel vyjadřují například křivky Miedema a Vos (1998), Miedema a Oudshoorn (2001) či *evropské křivky pro letecký, silniční a železniční hluk* užívané ve směrnici (Směrnice č. 2002/49/EC). Tyto *evropské křivky* vyjadřují závislost vztahu procenta vysoce obtěžovaných¹⁰¹ (hodnocení větší než 3/4 rozsahu hodnotící škály) a ukazatele L_{den} (*ibid.*).

Křivky závislosti obtěžování hlukem na hladině akustického tlaku ukazují podobný průběh v laboratorních i terénních podmínkách, avšak křivky vytvořené v laboratorních podmínkách jsou strmější (Quehl a Basner 2006).

Nedostatky křivek závislosti na dávce

Křivky závislosti na dávce a závislosti odpovědi na dávce nevyjadřují vždy dostatečně přesně účinky hlukové zátěže (Fidell 2003, Schomer 2002). To může souviset s vlastnostmi ukazatelů i se způsoby, kterými jsou křivky stanoveny. Průběh závislostí se například v různých studiích liší dle metod výzkumu i zátěžových ukazatelů. Hodnoty závislostí obtěžování obyvatel ze sociálních šetření mají značný rozptyl (Fidell 2003) a křivky vypočtené na základě těchto hodnot mají široký *interval neurčitosti*. Interval neurčitosti křivky závislosti vysoce obtěžovaných a L_{dn} má například na 65 dB rozsah 1/4 maximální hodnoty závisle proměnné¹⁰² (Schomer 2002). Informaci o jevu může také zkreslit výlučné užití průkazných výzkumů (Lercher 1996¹⁰³) i uži-

98 Kategorizace hluku dle druhu silnice

99 Např. počty pohybů, či parametry letových drah v Austrálii

100 Podíl vysoce obtěžovaných obyvatel šetření mezi obyvateli

101 Hodnoty obtěžování byly stanoveny na základě podkladů 55 studií mezi léty 1950-1990

102 Dle autora této práce lze část tohoto rozptylu také vysvětlit vlastnostmi zkoumanými v této práci.

103 Zkoumán vliv užití průkazných výzkumů zdravotních dopadů hlukové zátěže.

tý ukazatel. Například ukazatel *vysoce obtěžovaných* nevyjadřuje informace o ostatních úrovních obtěžování (Borst a Miedema 2007¹⁰⁴) u hodnot vážených hladin (např. L_{Aeq}) mohou být odchylky závislosti u *obtěžování* či *rušení spánku* způsobeny nízkofrekvenčními (Leventhall 2004) i jinými složkami hluku. Závislosti se také mohou lišit dle *zdroje hluku* (Kryter 2009), *roční doby* (Schormer 2002), *proměnnosti expozice* (Brown a Kamp 2008) a *okolností užití* křivek (Bodden 1997). V letních měsících mohou být závislosti ovlivněny větráním okny (změny až o 8 dB L_{dn}) (Schormer 2002). Různé zdroje mohou mít odlišný dopad také vlivem útlumu ve vzduchu (Kryter 2009). Proložení hodnot průměrnou křivkou¹⁰⁵ tak tyto vlastnosti zanedbává. Průměrné hodnoty také zanedbávají vliv hluku na citlivé skupiny a osoby. Při využití křivek v opatřeních jsou tyto osoby méně chráněny (Lercher 1996).

Hodnoty proměnných, na základě kterých byly křivky stanoveny, také nemusí odpovídat pozorovaným hodnotám. Míra vysoce obtěžovaných neodpovídala pozorovaným hodnotám L_{den} evropské *standardní křivky* u leteckého (Kucharski 2007), silničního a železničního hluku¹⁰⁶ (Lercher et al. 2008). Pozorovaným hodnotám *obtěžování* i *četnosti stížností* neodpovídaly ani hodnoty vysoce obtěžovaných osob u leteckého hluku u křivek Schultz (1978) (Fidell 2003). S mírami vysoce obtěžovaných leteckým hlukem¹⁰⁷ (Lee et al. 2008) a železniční dopravou (Moriyama Sato Yano 2004, Lee et al. 2008) nesouhlasily hodnoty křivky Miedema a Vos (1998). Na nesouhlas hodnot stanovených závislostí expozičních metrik a hodnot obtěžování upozorňuje také Fidell (2003). Hodnoty maximálně přípustných hodnot určených na základě těchto křivek tak v konkrétních případech nemusí odpovídat podílu vysoce obtěžovaných pokud na základě tohoto podílu byly stanoveny.

Váhované hladiny

Lidský sluchový aparát není ve všech frekvenčních pásmech stejně citlivý. Stejnou akustickou energii vnímáme na různých frekvencích s odlišnou intenzitou. Průběh této citlivosti byl např. popsán *křivkami stejné hlasitosti* které popisují průměrnou frekvenční závislost hladiny akustického tlaku čistých tónů vyvolávající stejný vjem hlasitosti (Melka 2005, s. 229). Na základě těchto křivek byly stanoveny korekční křivky, jejichž účelem je nápodoba frekvenční citlivosti lidského sluchu. Jednotlivé průběhy jsou definovány v normě ISO (Norma ČSN ISO 266). Na základě těchto křivek byly definovány tzv. *normované frekvenční váhové funkce* A, B, C, D a G, které jsou implementovány pomocí stejně pojmenovaných *váhových filtrů*. Frekvenční charakteristiky váhových filtrů A, B, C jsou inverzní ke křivkám stejné hlasitosti pro hladiny 40, 80 a 120 dB na 1000 Hz, filtr D byl navržen pro letecký hluk. Hladiny změřené za použití těchto filtrů se pak označují symboly L_A L_B a L_C či L_D .

Nedostatky ukazatelů

Ukazatele odvozené z hladin akustického tlaku L_{Aeq} (například L_{den}) velmi přesně vystihují hladiny, na kterých může dojít k poškození sluchu¹⁰⁸ (Genuit 2002). Na nižších hladinách však klesá jejich schopnost postihnout nespecifické účinky hluku. Zároveň narůstá relativní podíl nezohledněných zátěžových faktorů na účincích hluku a vliv kontextu měření¹⁰⁹. Na 65 dB_(A) mají tyto ukazatele pouze omezenou schopnost vystihnout obtěžování či zdravotní následky

104 Autoři doporučují uvedení průměrných hodnot obtěžování

105 Metoda nejmenších čtverců

106 Místní odchylky; výzkum uskutečněn v Brennerském průmysku

107 Rozdíl až 20 dB (ukazatel L_{dn})

108 Hodnoty 85 dB_(A)

109 Již během měření je činěn předpoklad souvislosti mikrofonního záznamu s hlukovou zátěží obyvatel

hluku (Genuit 2002). Může tak docházet k podhodnocení celkové expozice obyvatelstva i expozičních limitů (Kryter 2009). Užívané ukazatele mají také některé další nedostatky:

Některé práce se zabývají vhodností vážení, zejména *váhovou hladinou A*. Hladiny akustického tlaku vážené filtrem A při hlasitostech vyšších než 40 dB (téměř veškeré obtěžující hluky) zanedbávají energii v nízkých frekvenčních pásmech (do cca 200 Hz). Se zvyšujícím se akustickým tlakem by měla být váhová křivka méně strmá (s menším potlačením nižších kmitočtů). Z důvodů podhodnocení nízkofrekvenčních složek hluku zpochybňují vážení *hladinou A* například Leventhall (2004) či Persson a Bjorkman (1988). Takto mohou být podhodnoceny například *zpětný ráz*¹¹⁰ startujícího letadla (Kryter 2009), hluk větrných elektráren (Leventhall 2004), hluk nákladních automobilů, ale také hluk s obsahem vyšších frekvenčních složek (nad cca 5 kHz) (*ibid.*). Odlišný způsob vážení představují váhová hladina *D*, založená na *křivkách stejné hlučnosti*¹¹¹ (Kryter 1970). Křivky stejné hlučnosti jsou založeny na studiích většího množství hluků než křivky stejné hlasitosti a od křivek stejné hlasitosti se liší zdůrazněním nižších a vyšších frekvenčních pásem (až 10 dB nad 1500 Hz a 20 dB na 20 Hz) (Kryter 2009).

Ukazatele vycházející z hladin akustického tlaku nevystihují aspekty vnímání časové proměnnosti a barvy zvuku (Genuit 2002). Vlastnosti barvy zvuku se mění se změnami hladiny akustického tlaku poměrně málo a lze je vnímat i u tichých zvuků (Genuit 2002, Genuit a Fiebig 2006). Například stejný pocit nepříjemnosti mohou vyvolat i zvuky s poloviční vypočtenou *hlasitostí* (Ellermeier et al. 2004). Ukazatele založené na hladině akustického tlaku také nevystihují složky hluku, jejichž zdrojem jsou akustické jevy nelineární povahy, které se projevují zvýšenou *ostrostití* či *hlasitostí* hluku (Gee et al. 2007). Příkladem tohoto hluku je i hluk proudových letadel (*ibid.*). Běžné indikátory, včetně vypočtené ostrosti (Zwicker a Fastl 1999) nezohledňují fázové vlastnosti zvuku a nejsou schopny vystihnout vnímané vlastnosti tohoto a prostorově proměnného druhu hluku. Pro všechny tyto případy je možné užít zvláštní ukazatele či tyto vlastnosti zohlednit korekcemi. Korekce ukazatelů založených na vážených hladinách akustického tlaku vůči dalším aspektům barvy zvuku např. doporučuje Raggam et al. (2007). Také Evropská směrnice umožňuje užití zvláštních ukazatelů v případě, že je hluk krátkodobě proměnný či tónový (Murphy a King 2010).

Někteří autoři upozorňují na možný vliv metodických nesrovnalostí při měření, výpočtu ukazatelů či přepočtu hodnot na jiné ukazatele pomocí převodních vzorců (O'Malley et al. 2009). Tyto odchylky se projevují na validitě hlukového mapování a vedou k odchylkám vypočtené hladiny v různých vzdálenostech, které mohou dosahovat až 6 dB v závislosti na vypočtené hodnotě (Murphy a King 2010). Z důvodu klesající výpovědní schopnosti ukazatele a rostoucí nejistoty výpočtu také nejsou hodnoty nižší než 55 dB L_{den} zahrnuty ve strategických hlukových mapách (Wolde 2000).

110 Angl. *backblast*

111 Angl. *equal noisiness contours*

2. Metodologická část

1. Metodologické aspekty výzkumu hluku

Hodnocení vlastností hluku

Hodnocení vlastností hluku závisí nejen na fyzikálních vlastnostech zvuku, ale také na psychologických vlastnostech jedince (Bodden 1997), může být ovlivněno vědomými i nevědomými rozhodnutími posluchače. Hodnocení míry obtěžování získané z posouzení pohody posluchače je výsledkem úvahy nad mírou nepohody, kterou daný jedinec přiřazuje konkrétním okolnostem. Toto hodnocení má fyzikální (*intenzita*), psychologicko-akustické (*kvalita*) a kognitivní aspekty (vlastnosti související s předmětem zvuku a jeho významem pro respondenta) (Genuit 2002). Bezprostřední podklady pro hodnocení mohou představovat psychologicko-akustické faktory: např. *vjemy hlasitosti, drsnosti, měkkosti, opakování, stálosti, nahodilosti* či také *pocity příjemnosti či nepříjemnosti, nevhodnosti, rušivosti či otravnosti* (Genuit 2002). Při hodnocení celkové míry obtěžování se navíc projevují ještě další kognitivní faktory: např. *vhodnost* či *nevhodnost, vyhodnocení kvality, rušení funkce, škodlivost, známost* či *vztah ke zdroji* (Genuit 2002). Jednotlivá hodnocení se mohou sčítat a nemusí odpovídat součtu míry vlastností, které je vyvolaly (Bodden 1997).

Vliv moderujících proměnných na hodnocení vlastností hluku

Výzkum vlastností hluku může ovlivnit působení některých vedlejších proměnných. Vliv některých proměnných byl prokázán například u dlouhodobého obtěžování obyvatel. Dle metaanalýzy 136 studií (Fields 1993) byla míra dlouhodobého obtěžování moderována *strachem, citlivostí, přesvědčením* o společenském významu zdroje hluku a *důvěrou* v účinnost opatření. Zanedbatelný vliv na míru dlouhodobého obtěžování však měla *předchozí hluková expozice, čas trávený v lokalitě, metoda dotazování, výhody ze zdroje* či *vlastnický vztah* a především *demografické charakteristiky* (věk, vzdělání, pohlaví, příjem či status, čas od přistěhování). Podobné výsledky uvádí také (Miedema a Vos 1998). Některé z těchto vlastností mohou mít vliv i na hodnocení nepříjemnosti, jejíž míra je zjišťována v této práci. Lze však předpokládat, že vliv některých uvedených faktorů je v kontrolovaných podmínkách menší než u dotazníkového šetření obyvatel (Raggam et al. 2007).

Citlivost na hluk a její vliv na hodnocení

Lidé se mohou lišit v různých aspektech vnímání hluku i v míře reakce na hluk. V populaci existují osoby s vyšší i nižší citlivostí vůči účinkům hluku (Job 1999) i vlastnostem zvuků (Sidenburg et al. 2016). *Citlivost* na hluk představuje relativní predispozici jedinců k vyšší míře reakce na hlukovou zátěž. Citlivé osoby vykazují náchylnost k negativním projevům spojeným s vnímáním hluku či hlukové zátěže (Job 1999). Nemusí však hluk vnímat s větší intenzitou, mohou na hluk pouze výrazněji reagovat, např. více vnímat nepříjemnost hluku (Ellermeier et al. 2001). *Míra citlivosti* umocňuje vliv hluku na jedince (zdravotní i psychický) a jedná se o výraznou *moderující* proměnnou ve výzkumech hlukové zátěže.

Citlivost k hluku je v populaci poměrně stabilní (Job 1999) a není ovlivněna kulturním kontextem (*ibid.*). Je ovšem možné, že osoby, které jsou vystaveny působení určitého hluku, mohou postupně získat vyšší citlivost k některým jeho rysům (např. zvýšením schopnosti tyto rysy rozeznávat). Citlivost se také může mírně měnit v průběhu dne (Bartels et al. 2015) a citli-

vost k obtěžování se též mění s věkem¹¹² (Van Gerven et al. 2009). U citlivosti na hluk byla rozlišena *afektivní* a *percepční* složka (Job 1999). Jednotlivci se mohou lišit svou citlivostí vůči aspektům zvuku (*percepční* složka), jednak v míře následné afektivní reakce (*afektivní* složka) a jednak v jejím hodnocení (*evaluační* složka). Evaluační složka zřejmě při zvýšené citlivosti na hluk převažuje (Ellermeier et al. 2001).

Citlivé osoby se od méně citlivých osob odlišují vyšším hodnocením *nepříjemnosti* zvuků (Ellermeier et al. 2001). Citlivost k hluku tak může souviset s větší citlivostí k vnímání *nepříjemnosti* zvuků. Jiné studie však ukazují, že citlivost jedince na hodnotu jím zvoleného prahu akustické pohody a tím i na hodnocení, které zvuky jsou již *nepříjemné*, vliv nemá (Thomas a Jones 1981).

Laboratorní výzkum nepříjemnosti

Experimentální výzkum zvuku v laboratorních podmínkách umožňuje kontrolu vedlejších proměnných. Za okolností jejich kontroly pak subjektivní reakce na měřenou veličinu může odpovídat charakteristikám podnětu, který jí vyvolal (Raggam et al. 2007, Ferjenčík 2010). V kontrolovaných podmínkách mohou být sníženy vedlejší vlivy spojené se *zrakem, prostředím, nepřímou evaluací* či s konkrétní formou *zdroje hluku*. Laboratorní studie jsou také snadněji opakovatelné (Raggam et al. 2007).

Předešlé výzkumy uvádějí dobrou shodu hodnot obtěžování získané laboratorně metodou párového srovnávání i metodou odhadu magnitudy s obtěžováním měřeným *in situ* (Marquis-Favre 2005b). Výsledky obtěžování hlukem, hodnoty jehož veličin byly zjištěny v poslechovém testu, jsou z tohoto důvodu také uváděny jako *nezkreslené obtěžování*¹¹³ (Zwicker a Fastl 1999).

Také ve studiích založených na srovnávání rozdílů mezi zvuky je vhodné zohlednit vliv veškerých faktorů, které nejsou studovány (Siedenburg et al. 2016). Ve studiích týkajících se barvy hluku by měly být zejména vyloučeny nebarevné faktory: Podněty by měly mít stejnou subjektivní hlasitost i délku trvání a náhodné pořadí (Melka 2005). Měl by být také zohledněn možný vliv asociace s vlastnostmi zdroje (Fastl 2006). Tento vliv lze snížit relativním hodnocením, při kterém posluchač srovnává rozdíl mezi zvuky pouze v kontextu bezprostředně pospolu prezentovaných zvuků (např. v páru zvuků rychle po sobě následujících), přičemž jednotlivý zvuk není hodnocen absolutně (*ibid.*).

Hodnocení nepříjemnosti

Nepříjemnost lze v poslechových testech škálovat. Nepříjemnost je vnímána metricky a splňuje kritéria pro škálování na intervalové stupnici (Ellermeier et al. 2004). Posuzovatelé při posuzování nepříjemnosti vykazují vysokou míru shody (*ibid.*).

Percepční prostor zvuků

Percepční prostor zvuků (Susini et al. 1999) je prostorový model, který reprezentuje strukturu vztahů mezi vnímanými zvuky. Tento prostor lze sestavit na základě vhodně zvolených vzdáleností, kterými respondent poslechového testu popisuje své sluchové vjemy, nejčastěji na základě nepodobnostních dat získaných metodou párového srovnávání (Melka 2005). Počet rozměrů percepčního prostoru v ideálním případě odpovídá počtu vlastností, na základě kterých posluchači dokáží vnímané zvuky rozeznat. Obvykle je v důsledku malého vzorku zvuků těchto

112 Nejvíce citlivé jsou zřejmě osoby středního věku. (Gerven et al. 2008)

113 Angl. *unbiased annoyance*

rozměrů méně než pět¹¹⁴ (*ibid.*). Pokud se vnímané zvuky neliší délkou trvání, výškou a hlasitostí, vyjadřuje percepční prostor vnímané složky barvu zvuku. Lze také vytvořit percepční prostor ze subjektivního hodnocení jiných vlastností, např. dle vnímané nepříjemnosti (*prostor nepříjemnosti*) (Susini et al. 1999).

Předpokládá se, že základní vnímané vlastnosti tvořící dimenze percepčního prostoru mají všichni lidé společné (*stabilita* percepčních prostorů). Posluchači se však mohou lišit vahou, kterou jednotlivým vnímaným vlastnostem přikládají, rozlišovacími a vyjadřovacími schopnostmi¹¹⁵ i stylem posuzování (*ibid.*). Součástí analýzy nepodobnostních dat by mělo být posouzení shody mezi posluchači a určení posluchačů s podobným stylem posuzování a rozlišovacími schopnostmi (Pressnitzer et al. 2000, McAdams et al. 1995).

Vlastnosti zvuků by percepčním prostorem měly procházet relativně homogenně (Susini et al. 1999). Pokud jsou vztahy mezi zvuky výlučně kategorické, percepční prostor nelze úspěšně sestavit. Caclin et al. (2005) např. nedoporučuje užití sad stimulů¹¹⁶ patřících rozdílným kategoriím zvuků společně v jediném poslechovém testu. V poslechovém testu by také neměly být užity podněty s ruchy v pozadí a jinými nechtěnými zvuky¹¹⁷ (Susini et al. 1999).

Slovní popis vlastností zvuků

Ke studiu vlastností barvy zvuku lze užít *slovní popis* či jiné slovní metody¹¹⁸. Posluchači mohou na vnímanou reprezentaci percepčních vlastností zvuku zaměřit pozornost a vyjádřit ji *hodnocením* či *slovním popisem* (Letowski 1992, Susini et al. 1999), například přídavnými jmény. Posluchači při těchto metodách popisují počítky a vjemy představované *reprezentacemi* (*obrazy*) vnímaných zvuků¹¹⁹ ve své *echoické paměti*. Pokud vhodná slova k popisu vlastností existují a posluchači mají společnou slovní zásobu, slova užitá k popisu těchto reprezentací jsou nezáměnná a vyjadřují *percepční identitu zvuku* (Susini et al. 1999). Tato identita odpovídá vnímaným i akustickým vlastnostem zvuku (*ibid.*). Míru vyjádřených vlastností popsaných slovně lze také hodnotit metodami psychologického škálování, např. metodami *odhadu magnitudy* nebo *sémantického diferenciálu* (Melka 2005).

Optimální délka stimulů

Ve studiích vlivu hluku na člověka lze v poslechových testech užít různé délky stimulů. Délka podnětu však může mít vliv na hodnocení některých vlastností. Vliv délky podnětu byl dokázán u hodnocení míry obtěžování. Dlouhé podněty tak pro hodnocení obtěžování zvukem užívá např. Sato et al. (2007) či Wayne a Ohrstrom (2002¹²⁰). Studie však nepotvrdily vliv délky podnětu¹²¹ na hodnocení nepříjemnosti či barvy a průměr součtu hodnocení nepříjemnosti dílčích úseků zvukové události odpovídal hodnocení celé události také u hlukových podnětů (Geissner a Parizet 2008). U hudebních zvuků mělo snížení délky stimulu z původní délky 30s na 1s pouze *slabý* vliv na podobu emoční odezvy; emoční prostory posluchačů poslouchajících krátké i dlouhé úryvky byly vysoce podobné (studie emočních prostorů) (Bigand a Poulin-Charronnat 2006). Někteří autoři tak používají krátké podněty, např. Nilsson (2007) používá délku podnětu 3s (kritérium psychologické současnosti).

114 Čas potřebný k poslechovému testu narůstá s počtem podnětů geometricky

115 Angl. *dimension salience*

116 Např. smíšené *perkusní* a *stacionární* zvuky

117 Nezamýšlené vlastnosti mohou vytvářet nechtěné rozměry prostoru

118 Např. metoda sémantických diferenciálů

119 Angl. *auditory image* a *auditory object*

120 Až 3 minutové zvuky přehrávané během činnosti posluchačů

121 Délka podnětu delší než 1s

Pro účely párového srovnávání, rozpoznání vlastností barvy zvuku a identifikace akustických proměnných jsou vhodné krátké podněty, zejména pokud jsou vlastnosti zvuku proměnné v čase (Vastfjall et al. 2002, Caclin et al. 2005). U zvuků, které přesáhnou kapacitu sluchové paměti si posluchači mohou vybavit a srovnávat pouze závěrečné části zvuků. Kratšími podněty lze také snížit zkreslení ve fázi hodnocení (Genuit 2002) i míru ovlivnění výsledků psychologickými subjektivními faktory, jako jsou např. motivace, vzdělání, faktory prostředí (*ibid.*).

Vliv zkušenosti na poslech a popis vlastností zvuku

Schopnost vnímat aspekty barvy zvuku získáváme samovolně na základě zvukového prostředí, které nás obklopuje (Chartrand et al. 2008). S dalšími zkušenostmi však získáváme schopnost je lépe popsat a rozlišit. Posluchači, kteří mají zkušenost s poslechem zvuků, dokáží lépe diferencovat *výšku tónu, vlastnosti barvy zvuku i délku trvání* než posluchači bez této zkušenosti a mají také rozvinutější schopnost rozpoznat aspekty barvy zvuku jak ve své expertní oblasti, tak i mimo tuto oblast (*ibid.*). Zkušení posluchači¹²² také mohou mít ke stejným vlastnostem zvuku odlišné preference (Bigand a Poulin-Charronnat 2006). Rozvoj schopnosti rozpoznat vlastnosti barvy zvuku provázejí neurofyzilogické změny, které odpovídají rozvoji schopností zpracovávat různé reprezentace barvy zvuku (Bigand a Poulin-Charronnat 2006, Chartrand et al. 2008).

Zkušenost s poslechem však zřejmě nemá vliv na prožívání napětí i dalších emocí (Bigand a Poulin-Charronnat 2006). Zkušení i nezkušení posluchači při poslechu stejných zvuků prožívali podobné emoce¹²³ a schopnost rozlišit vedlejší vlastnosti ve zvuku měla na prožívání pouze malý vliv (*ibid.*). Zkušenost s poslechem také neměla vliv na předpozornostně vnímané aspekty barvy zvuku (Koelsch et al. 2002).

Sběr dat v poslechovém testu

Při sběru dat v poslechovém testu respondent provádí sled úkonů (např. poslech, rozpoznání, vybavení či formulaci) a do tohoto sledu je zapojen i administrátor testu. Nevhodné provedení těchto úkonů může do měřených dat vnášet určité systematické a nesystematické chyby, které mohou nastat v důsledku chybějících odpovědí, nesrozumitelného nebo víceznačného zadání, zkratkovitého usnadňování odpovědí, úmyslného klamání, únavy i nedostatečným vysvětlením škály či metody či při záznamu výsledků (Melka 2005). Tyto chyby lze omezit na základě empirických postupů uvedených například v Melka (2005), Břicháček (1978) či Lietz (2010). Poslechový test byl vytvořen s ohledem na tato pravidla.

Faktory šíření hluku

Zvuk se na cestě mezi zdrojem a posluchačem šíří médiiem v určitém prostoru. Vlastnosti tohoto prostředí ovlivňují výsledné objektivní i vnímané vlastnosti zvuku. Změny mohou nastat *útlumem, rozptylem, změnou směru či interferencí* různých složek zvukového vlnění během přenosu. Za běžných podmínek mohou šíření hluku ovlivnit zejména atmosférické podmínky: *teplota, gradient teploty, vlhkost, rychlost a směr větru* i vlastnosti terénu: *tvar terénu, pohltivost, odrazivost* (Nyborg a Mintzer 1955), které se mohou měnit v závislosti na *druhu povrchu, vegetačním pokryvu, feno fázi, hustotě vegetace a půdní vlhkosti* (Fang a Ling 2003). U letického zvuku, který představuje zdroj ve výšce, mohou mít atmosférické podmínky *rychlost větru, teplota, vlhkost, teplotní gradient* a jejich změny s výškou výrazný vliv (Schulten 1997). Tyto faktory ovlivňují celkovou přenesenou energii, energii v jednotlivých frekvenčních pásmech. Například porost z keřů před posluchačem může snížit hladinu akustického tlaku ze sil-

122 Hráči na hudební nástroj

123 Poslech hudebních zvuků

niční dopravy ve srovnání s betonovým povrchem až o 2 dB_(A) (Bolund 1999). Podmínky šíření zvuku prostorem také mohou změnit i kvalitativní vlastnosti hluku: barvu zvuku i prostorové vnímání v daném prostředí, například míru obklopení zvukem či plnost zvuku.

U leteckého hluku jsou s okamžitými atmosférickými podmínkami spojeny i další vlastnosti, které jsou z hlediska barvy zvuku podstatné. Jde např. o výkon pohonné jednotky či místo na lopatce dmyhadla, na kterém dojde k překročení rychlosti zvuku. Vlastnosti přenosu zvuku i prostředí tak mají vliv na výsledné vnímání zvuku posluchačem.

Faktory spojené s prostorovým slyšením

Jednou ze schopností lidského sluchu je prostorové slyšení (Syka et al. 1981). Prostorové slyšení umožňuje binaurální charakter sluchu (pár uší), vlastnosti vnějšího ucha (umístění na hlavě a asymetrický tvar ušních boltců) a neuronální systém rozpoznávání prostorových informací sluchovým aparátem (*ibid.*). Tvar uší a hlavy vytváří směrový filtr, který mění přenosovou funkci mezi zdrojem a posluchačem v závislosti na poloze zdroje (Bodden 1993). Tyto změny přenosové funkce vyvolané anatomií hlavy popisují například přenosové funkce vztažené k hlavě¹²⁴. Prostorové slyšení i zpracovávání prostorových informací na sluchové dráze se uplatňuje i při vnímání hluku (*ibid.*). Prostorové slyšení hraje roli u vnímání zvukového prostředí a zvukového pole posluchačem i v projevu zdroje v tomto prostředí. Také spolupůsobí při vnímání některých vlastností barvy zvuku. U binaurálního slyšení jsou nižší prahy maskování některých rysů zvuku oproti monaurálnímu a odlišné také může být vnímání *hlasitosti* i charakteristik *barvy zvuku*, například *ostrosti*, *drsnosti*. Prostorové charakteristiky mohou mít vliv na průběh tělesné reakce a měly vliv na vodivost kůže i srdečního tepu ve studii Bodden (1993).

Při poslechu reprodukováného zvuku zaznamenaného jediným mikrofonem reprodukováný zvuk neobsahuje veškeré vlastnosti zvukového pole v místě záznamu a nezohledňuje vlastnosti spojené s prostorovým slyšením (maskování, prostorové složky barvy zvuku a vnímání prostředí či polohy), a poslechové hodnocení záznamů hluku z jediného mikrofону nemusí odpovídat hodnotám z poslechu *in situ* (*ibid.*).

Zanedbání těchto poslechových faktorů může mít vliv na *ekologickou validitu* výzkumu (Bodden 1993, Genuit 2002). U výzkumů, kde je tato validita vyžadována, lze zvolit metodu binaurálního či vícekanálového záznamu s odpovídající metodou reprodukce (Melka 2005), například metodu záznamu zvukového signálu binaurálními mikrofony či umělou hlavou s reprodukcí sluchátky (*ibid.*).

Binaurální stereofonní metoda záznamu stimulů

Během poslechového testu by měl reprodukováný zvuk u posluchače vyvolat pokud možno shodné vjemy jako při poslechu v místě záznamu (Melka 2005). Binaurální stereofonní technika je metoda záznamu a reprodukce, při níž je zachována informace o zvukovém poli v místě záznamu zohledněním anatomických rysů vnějšího ucha a hlavy a charakteristik reprodukčního řetězce (Bodden 1993). Při poslechu binaurálního záznamu vhodnými sluchátky je výsledný reprodukováný zvuk totožný se zvukem, který by posluchač slyšel ve zvukovém poli v místě záznamu (Melka 2005). Při využití této metody mohou všichni posluchači hodnotit stejné zvuky, které byly zaznamenány v určitém čase a na místě, na kterém by v té době nemohli být. Na rozdíl od přímého posuzování v místě záznamu lze takto omezit vliv vedlejších proměnných, měření i poslechy lze opakovat a výsledky přímo srovnávat (Bodden 1993).

Jednou z možných metod binaurálního záznamu zvuku je metoda záznamu *umělou hlavou* (*ibid.*). *Umělá hlava* je fyziognomická replika lidských uší a hlavy, která obsahuje zařízení na záznam zvukového signálu. Při poslechu záznamu z umělé hlavy na sluchátkách s adekvátní

124 Angl. *head related transfer functions*

přenosovou funkcí vnímá posluchač zvuk, který lze považovat za reprezentaci zvuku, který by slyšel, pokud by stál na místě *umělé hlavy* (Neumann 2013). K záznamům provedeným v této práci byla využita umělá hlava KU100 s mikrofonní membránou zabudovanou v poloze ústí ušního zvukovodu (stereofonní binaurální kondenzátorové mikrofony).

Tvar hlavy a lidského ucha se liší napříč populací a rozměry umělé hlavy a vnějšího ucha jsou průměrnými rozměry populace (Neumann 2013). To může způsobit individuální odchylky u jednotlivých posluchačů (Bodden 1997). Při reprodukci sluchátky také nelze docílit identického vjemu pokud zvuk obsahuje amplitudově silné nízké frekvence, které posluchač vnímá celým tělem (*ibid.*). Výzkum těchto vlastností však není předmětem této práce.

Podmínky záznamu leteckého hluku

Podmínky, za kterých záznamy leteckého hluku vznikají, mohou ovlivnit výsledné vlastnosti zaznamenaného zvuku. Vlastnosti zvuku ovlivňují jak podmínky meteorologické (změnou přenosových charakteristik prostředí či působením na mikrofon¹²⁵), tak podmínky dané zvoleným umístěním a orientací mikrofonů (vliv úhlu dopadu a akustické působení okolního prostředí) (Raichel 2006, s. 179). Z těchto důvodů jsou pro měření tyto podmínky upravovány a reprezentativní podmínky měření hladin akustického tlaku jsou například standardizovány v *metodických návodech*¹²⁶ (Metodický návod č. OVZ-32.0-19.02.2007/6306) či normě ISO (Norma ČSN ISO 1996-1). Tyto normy stanoví podmínky, za kterých nelze měření provádět. Dle metodického návodu *pro mimopracovní prostředí* nelze měření provádět za nadměrných vibrací, teplot, chladu, vlhkosti, proudění větru a za jiných nepříznivých okolností. Např. mikrofon by měl být vzdálený 3.5 m od nejbližší odrazivé plochy a v okruhu 0.5 m od mikrofonu by se neměly nacházet osoby (*ibid.*). Norma ISO (*ibid.*) pro měření hluku ve vnějším prostředí vyžaduje vzdálenost 3.5 m od nejbližších odrazivých ploch a výšku měření 1.5m. V *metodickém návodu pro letecký hluk* je vyžadována vzdálenost mikrofonu 3.5m od odrazivých ploch jiných než povrch země a tento povrch by měl mít 5m v okolí místa měření střední zvukovou pohltivost (travnatá plocha bez sněhové pokrývky, ledu a *velkého množství* vody). Rychlost větru by neměla překročit 5 m/s, teplota 30°C a součinitel relativní vlhkosti a teploty vzduchu hodnotu 500. Uvedené pokyny byly také dodrženy při záznamech leteckého hluku v této práci z důvodů potřebné reprezentativnosti výsledků práce a možnosti jejich případného budoucího srovnávání s měřeními jiných autorů.

Záznam leteckého hluku je záznamem *hlukových událostí* (Smetana et al. 1998, s. 134.). Tuto událost lze například ohraničit dobou, po kterou trvá zvuk, jenž je předmětem zájmu (Siller a Michel 2002). V metodickém návodu je událost subjektivně definována jako doba, po kterou je zvuk slyšitelný nad zvukem pozadí. Kryter (2008) upřesňuje dobu trvání hlukové události jako časové rozmezí v němž zvuk překračuje zvukové pozadí o 10 dB.

125 Vítr může způsobit ruch větru

126 Metodický návod pro měření a hodnocení hluku v mimopracovním prostředí, Metodický návod pro měření a hodnocení hluku z leteckého provozu.

Formulace výzkumného problému

Východiska této práce jsou uvedeny v teoretické části práce. Tyto předpoklady se týkají několika oblastí. Přímou s hypotézami jsou spojeny následující východiska:

Některé zvuky vnímáme jako více drsné a tato drsnost může mít více podob, které se mohou lišit také v důsledku fyzikálních příčin (Viz odstavec Drsnost zvuku). Tyto zvuky také mohou být více nepříjemné. Některé základní pocity nepříjemnosti mohou mít podobu reflexu a být vnímány i na nízkých úrovních zpracování (Bigand et al. 2005) nezávisle na jiných kognitivních procesech. S aktivací těchto procesů byla dána do souvislosti také drsnost (viz odstavec Drsnost zvuku a nepříjemnost). Nepříjemnost hluku byla také dána do souvislosti s obtěžováním hlukem a zdravotními dopady hlukové zátěže na člověka. Nárůst drsnosti i jiných aspektů barvy zvuku s růstem hladiny akustického tlaku není příliš výrazný (Melka 2005, s. 252) a na této hladině mohou být nezávislé i určité aspekty nepříjemnosti. Hladina akustického tlaku tak tyto parametry nezohledňuje (viz odstavec Afektivní prostor nepříjemnosti, Barva zvuku či Nedostatky křivek závislosti na dávce).

Relativní míra obtěžování leteckým hlukem v posledních desetiletích narůstá a letecký hluk se odlišuje strmějším průběhem křivky závislosti obtěžování na hladině akustického tlaku oproti jiným zdrojům hluku (viz odstavec Obtěžování leteckým hlukem). Tyto rozpor by mohly vysvětlovat vlastnosti barvy zvuku, které lze považovat za příčiny nepříjemnosti hluku.

Tato práce se tak zaměřila na letecký hluk letadel během vzletu. U tohoto hluku lze předpokládat několik jevů, které se mohou projevit různými druhy drsnosti zvuku (viz odstavec Zdroje leteckého hluku či Cirkulárkový hluk). Lze se také domnívat, že tato drsnost nebude jednorozměrná a bude mít více podob.

I když to není přímým zadáním této práce, úkolem bylo také provést pilotní průzkum popisných charakteristik leteckého hluku vnímaného posluchačem na zemi v lokalitě zatížené leteckým hlukem.

Práce odpovídá na následující výzkumnou otázku: Je drsnost součástí hlukového znečištění (hlukové zátěže letadly během vzletu) a jaké jsou její podoby?

V návaznosti na tato východiska byly proto stanoveny následující hypotézy:

Hypotéza 1: Drsnost je součástí hlukové zátěže letadly během vzletu.

Hypotéza 2: Drsnost u hlukových podnětů není jednorozměrná, hlukové podněty se budou lišit také kvalitativně.

II. Statistické postupy zpracování výsledků

V této části jsou vysvětleny některé klíčové statistické metody užívané v této práci. Vzhledem k tomu, že tyto metody navazují na výzkum provedený v mé bakalářské práci (Otčenášek 2013), některé z užitých metod (clusterová analýza a regresní analýza) jsou uvedeny pouze s odkazem na tuto práci.

Multidimenzionální škálování

Multidimenzionální škálování je metoda, s níž lze na základě vzdáleností mezi objekty vyjádřit jejich geometrické souřadnice ve vícerozměrném prostoru. V užívané nemetrické variantě jsou pak tyto vzdálenosti pořadové (Statistica). Různé konfigurace jsou vyhodnocovány tak, aby se vypočtené vzdálenosti co nejméně průměrně odlišovaly od skutečných vzdáleností a došlo k nejlepšímu možnému rozmístění objektů. Prostor takto vytvořený má vždy tolik dimenzí, kolik je nutných k úspěšnému vystihnutí těchto vzdáleností. Výsledné prostory pak musí být interpretovány za účelem vysvětlení stanovené dimenzionality (například metodou vícenásobné regrese) (*ibid.*)

Vypočtené vzdálenosti se mohou následkem chyb ve vstupních nepodobnostech lišit od vstupních nepodobností. Posoudit míru této odlišnosti lze na základě hodnot stresu (scree plot) a Shepardova diagramu (*ibid.*). Hodnota stresu vyjadřuje průměrnou míru, se kterou došlo ke změně původních vzdáleností při dané dimenzionalitě. Shepardův diagram zobrazuje vstupní a vypočtené vzdálenosti na základě nichž lze posoudit zda byly mezi objekty v prostoru zachovány pořadové vzdálenosti. Na základě posouzení hodnoty stresu lze také stanovit vhodnou dimenzionalitu prostoru (s vystižením adekvátních rozměrů dat dat klesá) (Sturrock a Rocha 2000)

3. Experimentální část

Praktickou část lze rozdělit na část terénních záznamů v lokalitách a na část sběru dat v subjektivním v poslechovém testu. Účelem první části bylo provést záznamy hluku letadel pro účely poslechového testu při zachování ekologické validity reprodukováného zvuku (záznam zvuku v přirozeném prostředí a jeho následná reprodukce). Účelem druhé části bylo v kontrolovaném prostředí experimentu získat data pro ověření hypotéz a konstrukci frekvenčních slovníků.

Uvedené práci předcházela předvýzkum v němž byly ověřeny záznamy různými druhy mikrofónů (všesměrový a směrový) i záznamovou umělou hlavou a byla stanovena vhodná místa pro provedení záznamů. V této části práce také proběhl předtest s malým počtem podnětů a posluchačů. Účelem bylo ověřit proveditelnost záznamu, možnosti využití stimulů tohoto druhu zvuku v poslechovém testu, stanovit vhodnou délku podnětu i počet potřebných stimulů a upřesnit metodu technického provedení.

1. Záznam leteckého hluku a příprava stimulů

V praktické části této práce byly provedeny záznamy přeletů letadel pomocí umělé hlavy ve dvou lokalitách zatížených leteckým hlukem (viz dále.). Záznamy využitě v této práci se uskutečnily ve dnech 2.12, 3.12, 6.12, 29.12, 7.2 a 15.2. Během těchto dnů bylo zaznamenáno celkem 87 záznamů hlukových událostí v průběhu celkového kumulativního času 16 hodin.

Lokalita záznamu

Zvuky byly zaznamenány v lokalitách Unhošť a Praha - Suchdol, vždy 7.2 km od prahu vzletové a přistávací dráhy 06/24, v ose této dráhy na straně orientované proti větru (strana užívaná pro vzlet). Stanoviště byla vybrána s ohledem na omezení výskytu odrazivých či pohltivých



Obr. 1 Vlevo. Záznam zvuku v místě Unhošť. Vpravo. Záznam v místě Praha-Suchdol

plach (stavení, umělý povrch či les, terénní nerovnosti) dle metodických pokynů pro měření leteckého hluku (viz Obr. 1). Obě lokality se nacházely v bezprostřední blízkosti (do 500m) od nejbližšího zastavěného území.

Technické provedení záznamu

Technicky byl záznam proveden trojicí kondenzátorových mikrofónů (1x směrový mikrofón AKG C 586 EB, 2x mikrofóny Neumann zabudované v ústí ušního kanálu umělé hlavy Neumann KU100) umístěných 1.8m nad povrchem země (směrový mikrofón v úhlu 45°). Mikrofónní signály byly digitalizovány D/A převodníkem 4 kanálové zvukové karty Steinberg UR44 s mikrofónním předzesilovačem (formát wave, vzorkovací frekvence 96000 Hz/32 bit). Karta byla napájena externími bateriemi. Oba záznamy byly synchronizovány. Umělá hlava i mikrofóny byly natočeny v rovné ose ve směru vzletové a přistávací dráhy. Obsluha byla v při obsluze měřící aparatury vzdálena více než 2 m od mikrofónů.

Mikrofónní soustava byla kalibrována certifikovaným kalibrátorem (Norma č. ČSN EN 60942). Byl také kalibrován celek záznamového a reprodukčního řetězce, aby průměrná hladina akustického tlaku jednotlivých hlasitostně normalizovaných zvuků ve sluchátkách (měřeno záznamovou umělou hlavou) odpovídala průměru hladin akustického tlaku nenormalizovaných zvuků a aby tato hladina odpovídala hladině akustického tlaku v místě záznamu (též měřeno záznamovou umělou hlavou). Ve dnech záznamu nenastaly žádné srážky a rychlost větru v nárazech nepřekročila 5 m/s (ČHMU). Na základě zjištění předvýzkumu o závažnosti rušení ptačím zpěvem byly záznamy provedeny v zimních měsících s nejmenším množstvím těchto zvuků. I přesto byla část zvuků tímto zpěvem či jinými ruchy rušena. Tyto zvuky byly v následující části vyloučeny.

Z takto zaznamenaných zvuků byly následně vytvořeny podněty využitě v poslechovém testu (využity byly pouze záznamy provedené na umělou hlavu KU100). Signál ze synchronního paralelního záznamu na směrový mikrofón AKG C 586 EB bude využit k budoucímu výzkumu souvislostí mezi získanými deskriptory a fyzikálními charakteristikami signálu.

Výběr využitých podnětů

Ze záznamů hlukových událostí byly následně vybrány úseky o délce 1s.

Tyto úseky byly vybrány ze záznamu hlukové události na základě kritéria překročení průměrné hladiny 65 dB(A) (představovalo hodnoty okolo 74 dB(lin)) a stacionarity zvuku v uvažovaném místě. Tyto podmínky byly stanoveny z hlediska co nejmenší následné manipulace se signálem při srovnávání podnětů na stejnou subjektivní hlasitost. Výběrem zvuků s podobnou hladinou dB a také došlo k omezení vlivu šumu mikrofónu, který by byl přítomen u příliš zesílených záznamů. Pokud se ve zvuku po překročení hladiny vyskytly neobvyklé změny náhodného charakteru, výběr byl učiněn z nejbližšího vhodnějšího místa v rozmezí 3 vteřin. Zvuky, které byly v celé části rušeny ptačím zpěvem či jinými ruchy byly vyřazeny. Tímto způsobem bylo vyloučeno celkem 43 záznamů.

Hlučná i méně hlučná letadla se při překročení této hladiny nacházela v důsledku nízké změny polohy vůči posluchači za jednotku času v této části přeletu přibližně v obdobném místě nad obzorem vůči posluchači (umělé hlavě) a úhel svíraný myšlenou přímkou mezi pozicí letadla při překročení uvedené hladiny a místem záznamu zvuku nepřekročil 60°.

Vybrané 1s zvukové výběry byly následně dodatečně dopraveny na stejnou hlasitost při subjektivním poslechu na základě doporučení 3 posluchačů (úpravy nikdy nepřesáhly více, než 3 dB). Takto bylo získáno 34 podnětů o délce 1s. Na začátku a konci každého stimulu poté bylo vytvořeno pozvolné zesílení a zeslabení v délce 100 ms.

Výběr stimulů

Celkový počet 34 podnětů byl dále snížen s hledem na délku testu výběrem vhodných adeptů na vyřazení. Byl proto vytvořen poslechový test párového srovnávání nepodobnosti barvy zvuku (poslech 526 párových kombinací) jehož účelem bylo vyloučit zvuky, které byly jiným zvukům podobné (při maximálním zachování odlišností v souboru zvuků). Tento poslechový test trval cca 6 hodin, a podstoupili jej 3 expertní posluchači. Na základě tohoto testu bylo vyloučeno 21 zvuků, které splnily následující podmínky pro vyloučení: (1) zvuk měl nejvíce blízkých vazeb s jiným zvukem vůči ostatním zvukům a tyto vazby měly hodnotu menší než 1.8 (průměry hodnotitelů na škále nepodobnosti 0 až 5), (2) zvuk měl nejvíce nejvyšších korelací nepodobnostních hodnot na hladině významnosti 0.00001 s jiným zvukem, (3) zvuk měl nejvíce vazeb s nižším rozdílem k jinému zvuku, než hodnota 2 (slovně označena jako *malý rozdíl*), přičemž se na těchto vazbách shodli všichni posluchači. Aby byl zvuk vyloučen, musela být splněna všechna 3 kritéria (shoda posluchačů byla důležitá z důvodu jejich nízkého počtu). Vyložené zvuky viz Tab. 1. Tímto postupem bylo vybráno nejvíce nezástupných 16 zvuků. Těchto 16 zvuků bylo administrováno ve finálním poslechovém testu již konečnému vzorku posluchačů (test je popsán v následujícím odstavci).

Tabulka 1. Vyloučené zvuky. Nejnižší nepodobnost s jiným zvukem

zvuk č.	nepodobnost	zvuk č.	nepodobnost	zvuk č.	nepodobnost
15	0.0	13	0.2	11	0.2
16	0.0	14	0.3	5	1.2
17	0.0	30	0.5	7	1.2
21	0.0	24	0.7	28	1.2
23	0.0	9	0.8	29	1.3
20	0.8	19	0.8	8	1.5
Vnímáný rozdíl mezi zvuky: 0 – žádný, 1- nepatrný, 2 - malý					

II. Poslechové testy

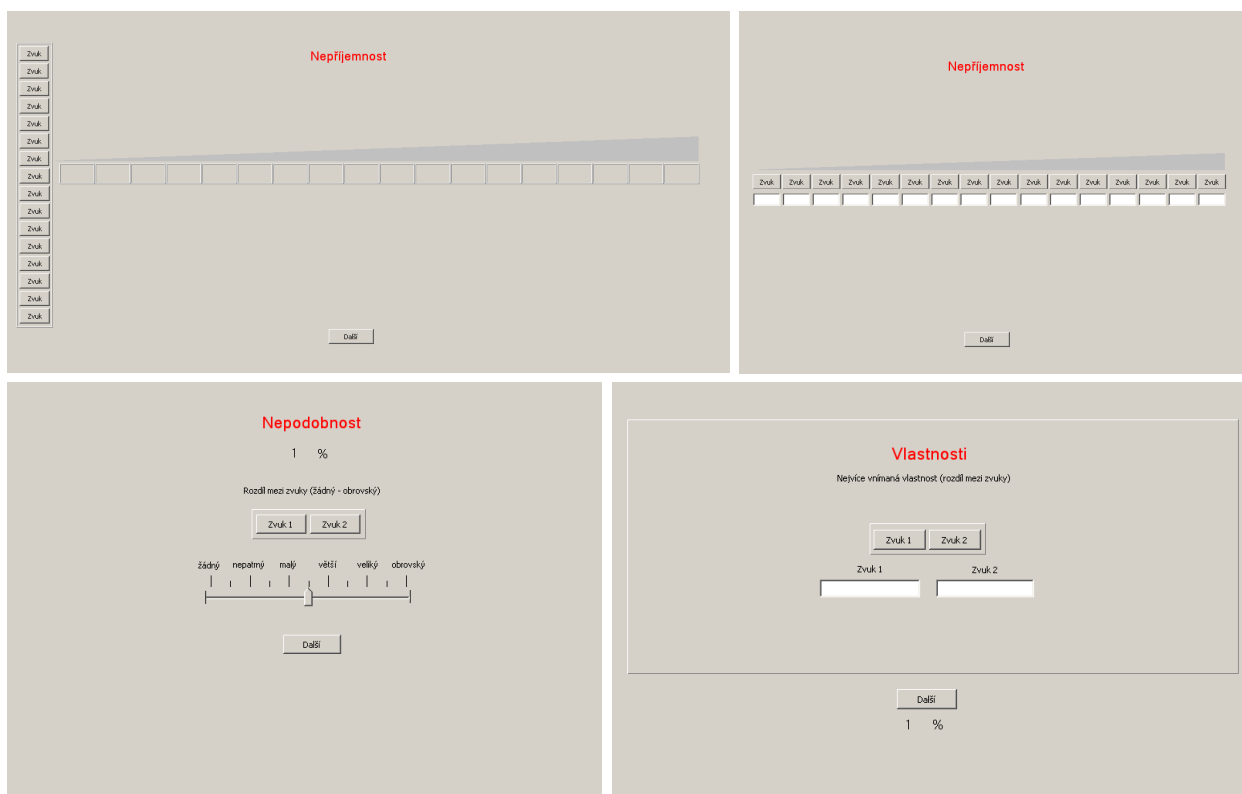
Výsledných 16 zvuků bylo použito jako podněty v poslechovém testu, na základě kterého byly ověřovány hypotézy dále v práci.

Poslechový test byl připraven v prostředí listening test editor (LiTEd) a tvořilo jej 5 částí. V testu byly sbírány hodnoty: (1) nepříjemnosti pro jednotlivé zvuky (metoda VARR; seřadovací test metodou volného výběru s následným doplněním hodnot odhadu míry nepříjemnosti), (2) rozdíl mezi zvuky v nepříjemnosti (párový test, 120 párů), (3) rozdíl mezi zvuky v barvě zvuku (párový test, 120 párů), (4) slovní popisné charakteristiky (nejvíce vnímaná vlastnost zvuku oproti druhému zvuku v páru, 120 párů) a (5) hodnoty drsnosti pro jednotlivé zvuky (taktéž seřadovací test VARR se sběrem hodnot). K reprodukci záznamu byla použita elektrostatická sluchátka. Průměrná hladina akustického tlaku zvuků ve sluchátkách (měřeno záznamovou umělou hlavou) odpovídala průměru hladin akustického tlaku nenormalizovaných zvuků (aby tato hladina odpovídala hladině akustického tlaku v místě záznamu).

Test s přestávkami trval přibližně 3 hodiny, avšak často byl rozdělen na dvě 1.5 hodinu trvající části. Jednotlivé části testu za sebou u všech posluchačů následovaly ve zmíněném pořadí totožně. Pořadí podnětů bylo mezi posluchači znáhodněno, posluchači zvuky mohli stejný zvuk přehrávat vícekrát a nabízené zvuky mohli přehrát v libovolném pořadí. Párové testy předcházela zácvková kola. Všichni respondenti byli instruováni shodným způsobem

V párovém nepodobnostním testu respondent srovnával nepodobnost či nepříjemnost dvou zvuků na škále 0 až 5 (stupnice po 0.5 bodu) s verbálními popisem rozdílu nepodobnosti

či nepříjemnosti (žádný-nepatrný-malý-větší-veliký-obrovský). V párovém testu ve kterém byla posuzována nepříjemnost byl také vždy hodnocen více nepříjemný zvuk. V testu VARR byly seřazovány podněty dle míry sledované vlastnosti a následně byly hodnoceny dle této míry na škále (metoda *seřazování podnětů do pořadí* spojenou s následným hodnocením míry sledované vlastnosti). Ilustrační přehled vzhledu obrazovek při jednotlivých testech je na Obr. 2.



Obr. 2 Snímek vybraných obrazovek v poslechového testu. Nahoře: 1 a 2 obrazovka seřadovacího testu VARR. Dole vlevo: Test párového srovnávání nepodobnosti (škála byla totožná i v testu hodnocení nepříjemnosti). Dole vpravo: Test párového srovnávání se sběrem popisných charakteristik.

Výběr respondentů

Poslechového testu se zúčastnilo celkem 23 respondentů. Respondenti byli vybráni metodou příležitostného výběru (věk 20 - 60 let, 14 res. < 30 let a 9 res. >30 let). Devět z respondentů bylo svou profesí zaměřeno na práci se zvukem (studenti a pedagogové oboru Zvuková tvorba AMU v Praze) a 14 respondentů bylo bez předchozí zkušenosti s profesionálním poslechem. Respondenti byli převážně z řad studentů Fakulty humanitních studií Univerzity Karlovy a studentů či pracovníků Akademie muzických umění v Praze. Všichni respondenti nahlásili zdravý sluch.

Respondenti se zkušeností s kritickým poslechem byli zahrnuti pro svou schopnost lépe a s větší přesností rozlišit některé aspekty barvy zvuku (viz odstavec Vliv zkušenosti na poslech a popis vlastností zvuku). U výzkumů barvy zvuku či nepříjemnosti byla též prokázána značná nezávislost na struktuře respondentů, struktura souboru však zřejmě měla určitý vliv na sběr slovních popisných charakteristik. Tato práce slouží jako potřebný předexperiment pro následující výzkum, takže jejím vedlejším cílem byl i sběr možných slovních popisů od většího počtu respondentů, které umožní budoucí výběr jednotných popisných slov.

Průběh poslechového testu

Poslechové testy proběhly v akusticky upravené poslechové místnosti zvukového studia Hudební fakulty Akademie múzických umění v Praze a v prostoru knihovny společenských věd T. G. Masaryka v Jinonickém areálu Univerzity Karlovy. Poslechového testu se účastnilo 23 respondentů, kteří vykonali všechny části testu. Účast na testu byla dobrovolná a posluchači byli instruováni o možnosti snížit hlasitost ve sluchátkách či opustit test v kterýkoliv okamžik. Také byli instruováni o možnosti zařazení přestávek kdykoliv v průběhu testu. Všichni posluchači poslechového testu hlásili pohodlný průběh testu. Prostředí i osoba administrátora v průběhu testu zůstávali stabilní, administrátor testu se zdržel nevhodných interakcí s pokusnou osobou a byl v průběhu testu pouze pokusné osobě nápomocný.

Podněty v párovém testu byly seřazeny pomocí Rosova plánu (Melka 2005, str.), podněty v seřadovacím testu VARR byly znáhodněny pro každého posluchače. V každé části testu bylo zácvikové kolo, které bylo pro všechny subjekty shodné, a jehož výsledky se neukládaly do databáze výsledků

Sběr slovních deskriptorů

Popisný test byl uskutečněn metodou sběru *spontánních verbálních výpovědí* posluchačů o nejvíce vnímané charakteristice na zvucích v páru (viz Melka 2005, s. 117). Užitý slovník posluchači během testu vytvářeli samovolně bez jakékoliv pomoci. Slova měla mít podobu nestupňovaných přídavných jmen v prvním pádě jednotného čísla. Administrátor testu se zdržel uvedení jakýchkoliv příkladů a pomoci respondentům s formulací slov. Respondenti byly pouze v zácvikovém testu instruováni o uvedené preferované podobě slov (nestupňovaná přídavná jména v prvním pádě popisující vnímané vlastnosti daného zvuku). Administrátor testu zapisoval na listu papíru slovník prvovyskytujících se slov. Respondent poté mohl do tohoto svého slovníku nahlížet v případech, kdy chtěl zpětně užít slovo, které již jednou použil. Respondenti také byly instruováni, aby tato slova nepoužíval nemístně pouze proto, že již byla uvedena. Respondent tak v průběhu testu vytvářeli svůj osobní slovník popisu zvuků v daných kontextech. To vedlo ke zvýšení pohodlí respondentů a také snížení délky trvání testů. Slovní popisy tak představují vlastnosti, kterými laikové i expertní posluchači označovali vlastnosti poslouchaných zvuků.

Administrátor si také v průběhu testu vedl své poznámky o slovech užitých posluchačem a zvýrazňoval slova, která by mohla mít synonymní významy. Synonymní významy byly poté upřesňovány v rozhovoru s respondenty po skončení testu. Synonymní vazby, které byly v rozhovoru identifikovány a následně posloužily ke snížení počtu synonymních slov ve výsledkovém souboru.

III. Zpracování výsledků poslechových testů

Frekvenční slovníky respondentů

V této části práce byly vytvořeny frekvenční slovníky na základě výskytu respondenty užitých slovních popisů (slov) v poslechovém testu. Frekvenční slovník je slovník adjektiv seřazených do pořadí dle četnosti výskytu (Melka 2005, s. 198).

Individuální matice slovních popisů z párového poslechového testu byly převedeny do jednotného souboru každého respondenta. Po korektuře jazykových chyb (zejména překlepů: např. bzčivý) i tvarů (např. jasnější namísto jasný) byly z těchto matic vytvořeny individuální histogramy četností výskytu slov. Pokud respondent slovo nevyplnil, chybějící pole bylo považováno za chybějící hodnotu. Celkem bylo od respondentů v poslechovém testu získáno 5386 položek, které představovaly 244 neopakujících se slov.

Jelikož se v poslechovém experimentu realizovaném autorem v bakalářské práci (Otčenášek 2013) lišily slovní popisy respondentů bez zkušeností a se zkušenostmi s poslechem zvuků, v následující části byla skupina respondentů *apriori* rozdělena dle kritéria poslechové profesní zkušenosti. Respondenti byli proto rozděleni na skupinu laici (respondenti bez předchozích zkušeností) a skupinu experti (s profesním zaměřením na práci se zvukem).

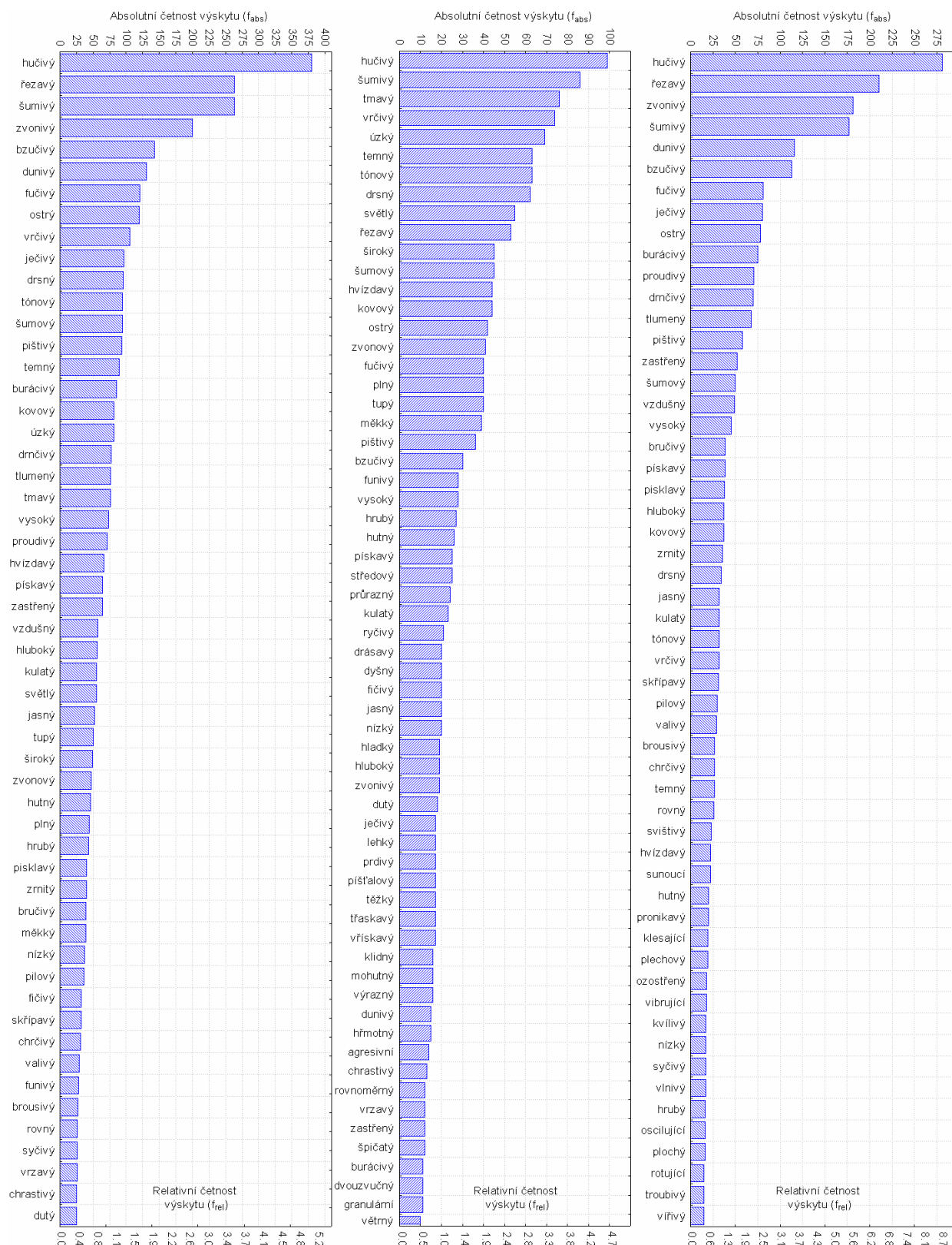
Z hlediska potenciálního vytváření obecného, nespecializovaného slovníku popisujícího hluk proudových letadel by byl vhodný zejména slovník, který by vytvořili respondenti bez předchozí jednostranné zkušenosti s poslechem. Respondenti se zkušeností však mohou mít lepší schopnost podrobněji popsat jednotlivé aspekty zvuku. Pro navazující výzkum tak mohou být zajímavé slovní popisy obou skupin. Výsledky každé ze skupin jsou proto uvedeny dále odděleně.

Slova v maticích respondentů byla kódována dle skupiny a byly vypočteny četnosti výskytu daného slova pro skupiny respondentů experti, laici. Byl také vytvořen frekvenční slovník pro skupinu všech respondentů (skupina všichni). Slova jsou popsána absolutním počtem výskytu (f_{abs}), či relativním procentním podílem výskytu v každé skupině (f_{rel}). Matice respondentů v těchto skupinách byly posouzeny z hlediska podílu respondentů, kteří dané slovo užili, i z hlediska uvedených četností slov.

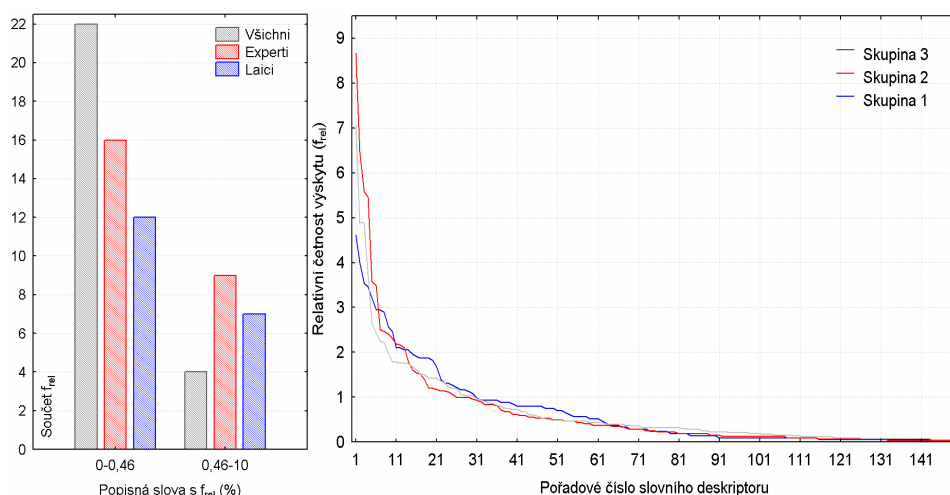
Značnou část výskytů slov představovala slova, která se vyskytla pouze jednou či dvakrát, a značnou část také představovala slova, která použil pouze omezený počet respondentů (viz obr. 4 vlevo). Tato slova tvořila třetinu odpovědí skupiny laiků a expertů, avšak ve společném slovníku je podíl těchto slov menší. To ukazuje na neshodu obou skupin na těchto slovech.

Z důvodů značného rozsahu těchto slovníků byly pro účely této práce použity jen slova s určitou absolutní či procentní relativní četností výskytu slovního popisu. Vzhledem k nižšímu počtu respondentů byla ve skupině laiků celková absolutní četnost výskytů slov nižší, než ve skupině expertů. Ti procentní relativní četnosti 0.46 dosahovali na f_{abs} 15. U laiků byla stejná relativní četnost dosažena na f_{abs} 10, u společného slovníku f_{abs} 26 (hranice relativní četnosti byla stanovena jako kritérium, od kterého byl zvuk zobrazen na grafu četností (Obr. 3). Popisy s četností výskytu nižší, než s touto četností nejsou v prezentovaných seznamech uvedeny. Obr. 3 prezentuje výsledný frekvenční slovník pro každou skupinu a pro skupinu všichni

Obr. 4 vlevo ukazuje průběh relativních četností výskytu pro každou skupinu. Na relativní četnosti f_{rel} 1.8 dochází u všech skupin posluchačů u dalších položek slovníku ke zřetelné změně strmosti poklesu četnosti výskytu. Nárůst četnosti u slov nad touto hranicí je naopak velmi strmý. Tato hranice odpovídá f_{abs} 36 u slov skupiny expertů, f_{abs} 68 u slov skupiny laiků a f_{abs} 97 u slov sloučené skupiny všichni, z čehož byla zvolena hranice pro následující seznam nejvíce četných vlastností. Nejvíce četná slova ($f_{rel} > 1.8$ a 2.9) jsou uvedena v Tab. 4. Hnědě jsou pak zvýrazněna slova vyskytující s touto f_{rel} ve všech skupinách.



Obr. 3 Vlevo: Četnost výskytu popisných charakteristik (Sloučený slovník obou skupin f_{abs} 26-380). Uprostřed: Četnost výskytu popisných charakteristik (skupina laici f_{abs} 15-280). Vpravo: Četnost výskytu popisné charakteristiky (skupina experti, f_{abs} 100-10). Každý graf je seřazen od nevyšší hodnoty po nejnižší.

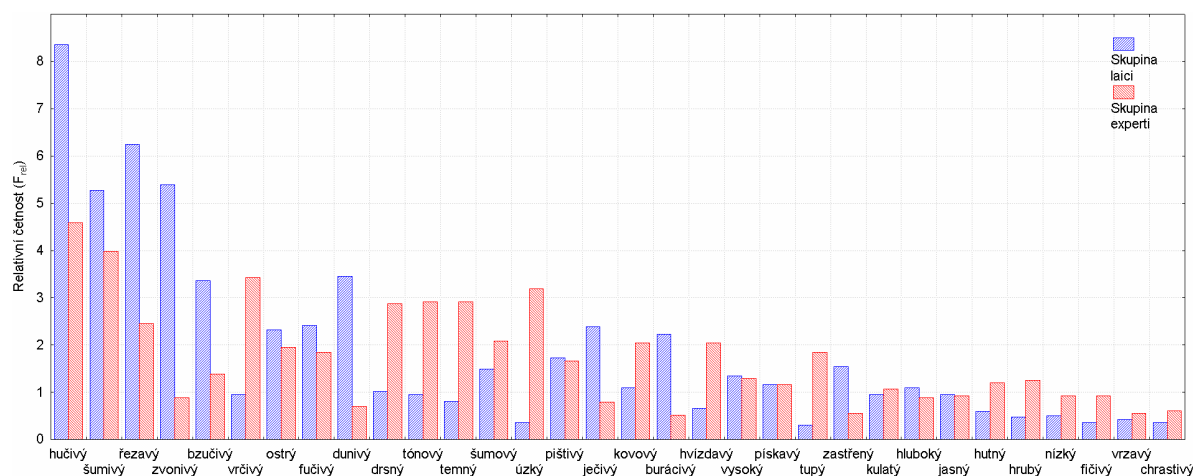


Obr. 4 Vlevo: Součet četností výskytu slov u skupiny laiků, expertů a všichni v kategoriích (kategorie dle relativní četnosti výskytu slov). Vpravo: Relativní četnosti výskytu, seřazené od nejvyšší hodnoty po nejnižší, pro skupinu laiků, expertů a sloučenou skupinu všichni.

Tabulka č. 2 Nejvíce četná slova ve frekvenčním slovníku expertů, laiků a všichni ($f_{rel} > 1.8$ a $f_{rel} > 2.9$, hnědě jsou vyznačena slova shodná ve všech skupinách)

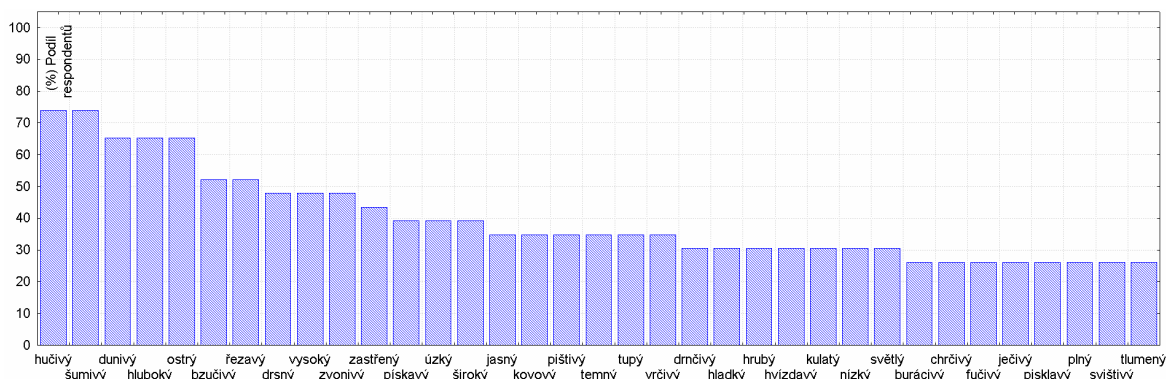
Skupina	$f_{rel} > 1.8$	$f_{rel} > 2.9$
laici	burácivý, bzučivý, drnčivý, dunivý, fučivý , hučivý , ječivý, ostrý , proudivý, řezavý , šumivý , zvonivý	hučivý , řezavý , zvonivý , šumivý a dunivý
experti	drsný, fučivý , hučivý , hvízdavý, kovový, měkký, ostrý , pištivý, plný, řezavý , světlý, široký, šumivý , šumový, temný, tmavý, tónový , tupý, úzký , vrčivý , zvonivý	hučivý , šumivý , temný, tmavý, tónový , úzký , vrčivý
všichni	bzučivý, dunivý, fučivý , hučivý , ječivý, ostrý , řezavý , šumi-vý , vrčivý , zvonivý	bzučivý, dunivý, fučivý , hučivý , ječivý, ostrý , řezavý , šumivý , vrčivý , zvonivý

Obr. 5 zobrazuje f_{rel} výskytu slovních popisů respondentů obou skupin s četností $> 10 f_{abs}$ v každé skupině. Tyto deskriptory představují přehled nejčetnějších slovních popisů sdílených posluchači obou skupin. Největší rozdíl v f_{rel} u obou skupin byl u slov *hučivý*, *řezavý* a *zvonivý*, ale také *ostrý*, *zvonivý*, *ječivý* a *burácivý* (v uvedeném sestupném pořadí). První 3 slova užívali respondenti skupiny laici s f_{rel} nejméně o polovinu vyšší, než respondenti ze skupiny experti. Respondenti ze skupiny experti oproti tomu s $f_{rel} > 1/5$ laiků užívali slova *vrčivý*, *drsný*, *tónový*, *temný*, *úzký*, *hvízdavý* a *tupý* a *hrubý*. Tento rozdíl lze vysvětlit profesním zaměřením posluchačů ze skupiny experti (práce se zvukem), kterému tento slovník odpovídá.



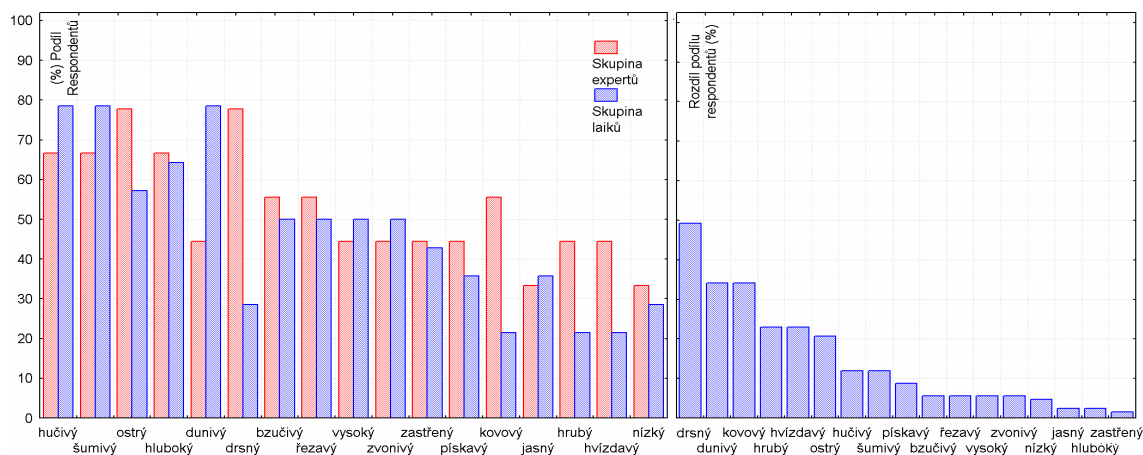
Obr. 5: f_{rel} výskytu shodných popisných slov (skupina laici, experti; F_{abs} 280-10, seřazeno dle průměrné hodnoty).

K posouzení vhodnosti slov k případnému vyjádření vlastností hluku byl také zhodnocen podíl respondentů, kteří užili dané slovo, viz Obr. 6. U sloučených slov všech respondentů více, než polovina všech posluchačů uvedla slovo *hučivý* (17), *šumivý* (17), *dunivý* (15), *hluboký* (15), *ostrý* (15), *bzučivý* (12) a *řezavý* (12) (závorka: počet respondentů, kteří slovo užili, % podíl je 93.9, 93.9, 65.2, 65.2, 62.2, 52.1 a 52.1 respektive). Více, než 1/3 respondentů také užila slova *drsný*, *vysoký*, *zvonivý*, *zastřený*, *pískavý*, *úzký*, *široký*, *jasný*, *kovový*, *pištivý*, *temný*, *tupý* a *vrčivý*. Mezi popisná slova, které užilo > 1/4 všech respondentů se řadila 1/7 všech celkem užitých charakteristik. 1/2 všech slov neužilo více, než 2 respondenti.



Obr. 6: Procentní podíl posluchačů, kteří užili uvedené slovo (seřazeno dle hodnoty podílu)

Matice obou skupin obsahují podobná slova. Výběr slov, které byly přítomny v matici respondentů expertů i laiků s procentní četností f_{rel} větší, než 0.45 je uveden na grafu (obr). U těchto slov laici a experti např. užili slova *šumivý*, *řezavý*, *ostrý*, *hučivý*, *hluboký* a *bzučivý* (> 1/4 respondentů také užila deskriptory *zvonivý*, *zastřený*, *vysoký*, *pískavý*, *nízký*, *jasný*, *hvízdavý*, *dunivý*, *drsný* a *bzučivý*, viz Obr.6 vlevo.



Obr. 6: Vlevo. Procentní podíl laiků a expertů, kteří uvedli slovní popis (pro > 1/4 podíl expertů užívajících slovo, seřazeno dle prům. podílu). Vpravo. Rozdíly podílu expertů a laiků (viz graf vlevo, seřazeno dle hodnot rozdílu).

Ve skupině laiků byl oproti expertům větší celkový podíl posluchačů užívajících vybraná shodná slova. Největší procentní rozdíl mezi podílem respondentů užívajících dané slovo ve skupině expertů a laiků byl u slova *drsný*, u kterého podíl respondentů užívajících slovo lišil o > 1/2. Slovo *drsný* také bylo užíváno ve skupině expertů > F_{rel} , než ve skupině laiků; pro interpretaci prostoru nepříjemnosti ovšem byla užita drsnost VARR). Ve skupině laiků však byly s více než

$\frac{1}{2}$ četností zastoupeny charakteristiky *drnčivý*, *bručivý* či *chrčivý*. Tato slova užilo 42, 35 a 35 procent respondentů (respektive). V expertní skupině však tato slova užil menší podíl posluchačů, než $\frac{1}{4}$ (33 procent respondentů ve skupině expertů však použilo slovo *drásavý* a s 55 procent slovo *vrčivý*). Skupiny se také lišily podílem respondentů obou skupin, užívající slovo *kovový* a *dunivý* (rozdíl v podílu respondentů užívajících deskriptory byl 20 procent, viz Obr. 6 vpravo).

Slovní popisy vlastností zvuků

V následné části byla sloučena slova se synonymními vazbami pod jedinou popisnou charakteristiku. Účelem tohoto sloučení bylo připravit podklady pro popis zvuků deskriptory dále v této práci. Po sloučení synonymních slov byl vždy pro sloučené slovo vybrán deskriptor, který splňoval jak kritérium nejvyšší četnosti užití, tak kritérium největší shody respondentů v použití daného slova (nejvyšší počet respondentů, kteří dané slovo užili).

Ze slučovaných slov byl největší rozdíl mezi shodou posluchačů a četností slova u slov *pískavý* – *pištivý* a *šoupavý* – *sunoucí*. U ostatních slov kritéria četnosti a shody byly v spolu souladu. U slov *pískavý* – *pištivý* bylo upřednostněno slovo, na kterém se shodlo více posluchačů (*pískavý*). Zejména proto, že synonymní vazba byla upřesněna vždy jen s určitým počtem posluchačů, se tato část práce odvíjela od jazykového citu autora (při rozhodování byl vždy zvolen konzervativní přístup ke slučování) (Melka 2005, s. 198). Sloučená slova viz Tab. 3.

Tabulka č. 3 Sloučená slova a výsledné deskriptory vlastností jednotlivých zvuků.

Slovo/deskriptor	Sloučeno se slovy	Slovo/deskriptor	Sloučeno se slovy
burácivý	Bouřlivý,	proudivý	tryskový
drásavý	škrábavý, drhnoucí, trhající	skřípavý	vrzavý
drsný	hrubý	sunoucí	šoupavý
dutý	rourový, kýblový	syčivý	sykavý
fučivý	foukavý, funivý, větrný, vířivý	šmirglující	broušivý
hluboký	nízký, dolní a basový	šumivý	šumový
hřmotný	hromový	tonový	sirénový
chrčivý	hrčivý	vibrující	chvějivý, třepotavý, roztřesený
jasný	svítivý, jásavý	vlnivý	vlnitý, kolísavý, proměnný, nestabilní
komplexní	mnohovrstevnatý	vysoký	horní
kovový	plechový	vzdušný	lehký
křiklavý	vřískavý, vřeštivý, řvavý, křičivý	zastřený	rozostřený
ostrý	špičatý, nabroušený, pichlavý	zrnitý	perlivý, granulární
pilový	zubatý, řezavý	zvonivý	cinkavý
pískavý	pištivý, písklavý		

Po sloučení synonymních slov byly z individuálních matic slov posluchačů vytvořeny seznamy slov pro daný zvuk a vypočteny četnosti výskytu každého deskriptoru na jednotlivých zvucích. Počty výskytu slovního deskriptoru získané v párovém testu jako dominantní vlastnost daného zvuku v páru byly následně užity k externí interpretaci percepčního prostoru drsnosti metodou vícenásobné regrese (viz odstavec Vnoření vnímaných vlastností). Seznam těchto slov je pro četnost výskytu f_{abs} 15 a výše je uveden v Tabulce 4).

Tabulka č. 4 Slovní deskriptory vlastností jednotlivých zvuků

Deskriptor \ zvuk č.	1	2	3	4	6	10	12	18	22	25	26	27	31	32	33	34	součet
hučivý	1	0	45	35	26	34	22	14	8	9	27	12	67	36	23	11	346
řezavý	66	49	2	7	19	4	0	18	32	52	1	10	0	0	0	19	289
šumivý	1	2	30	11	9	11	41	6	3	0	6	4	22	68	90	27	267
zvonivý	1	15	4	26	12	22	0	20	26	6	52	3	12	0	0	3	205
vrčivý	14	4	1	0	6	4	0	3	7	11	0	44	1	0	0	32	171
pískavý	9	34	8	35	18	43	0	19	15	18	15	0	0	0	0	0	169
drsný	6	2	6	6	18	5	0	14	8	6	5	30	16	3	1	11	164
bzučivý	15	22	3	2	12	8	0	20	28	26	1	6	2	1	0	7	152
fučivý	3	0	20	6	11	6	17	2	5	2	2	1	5	35	49	1	131
dunivý	0	0	12	4	3	2	66	1	1	0	6	9	6	6	7	0	126
skřípavý	12	8	3	5	9	3	0	13	11	8	12	2	8	0	0	12	108
ostrý	12	18	3	8	10	8	0	16	9	6	3	1	2	0	0	7	104
drnčivý	8	1	0	0	0	0	0	0	0	7	1	31	0	0	0	15	94
temný	0	0	11	1	3	2	23	1	0	1	7	10	10	8	6	5	90
ječivý	18	44	0	0	3	2	0	4	0	15	0	0	0	0	0	1	87
kovový	2	2	1	2	5	5	0	9	10	11	25	0	7	0	0	2	81
vysoký	8	9	3	7	3	3	0	9	10	5	6	4	4	1	1	3	79
hluboký	2	1	5	7	6	5	15	2	0	6	3	5	6	4	3	3	74
úzký	20	16	3	0	2	2	0	7	9	5	1	0	0	1	1	8	74
tmavý	0	0	7	4	7	6	14	2	3	0	0	4	9	8	7	6	73
tónový	3	9	3	7	5	11	0	4	9	12	7	1	1	0	0	0	73
prdivý	0	0	0	0	10	0	0	1	0	0	0	29	0	0	0	10	69
jasný	5	9	5	1	1	2	0	6	20	2	3	3	1	1	0	6	67
burácivý	0	0	12	9	4	0	21	1	0	0	3	0	4	9	12	0	66
vibrující	2	0	0	7	2	0	0	4	2	2	1	22	0	0	0	2	66
proudivý	3	1	7	7	1	6	3	9	4	4	4	1	6	1	2	0	59
bručivý	3	0	2	0	2	1	1	1	0	1	2	15	2	2	0	7	58
světlý	6	4	2	5	3	2	0	14	8	4	3	0	1	1	1	2	55
kulatý	1	0	5	0	5	5	4	3	3	3	4	4	0	6	4	9	54
zrnitý	0	0	8	0	5	4	1	3	0	1	3	2	12	6	8	5	54
tlumený	0	0	10	3	3	4	10	0	1	3	3	4	1	12	5	2	53
vzdušný	2	3	5	2	1	2	3	2	4	1	1	0	6	11	18	3	53
zastřený	0	0	2	1	2	5	5	0	4	0	9	3	5	8	12	2	53
zvonový	1	0	0	0	0	1	0	0	3	16	15	5	6	0	0	0	52
tupý	0	0	4	1	2	8	2	0	5	0	1	1	3	5	4	13	45
plný	0	0	2	7	11	5	2	2	0	0	5	3	4	3	0	0	44
drásavý	19	1	1	0	2	1	0	1	4	11	0	0	0	1	0	3	43
křiklavý	18	3	1	0	5	1	0	5	2	5	0	0	1	0	0	1	42
široký	0	0	3	5	6	3	0	3	3	1	6	0	8	4	2	2	42
hutný	0	0	3	4	0	0	8	2	0	0	5	1	7	1	8	1	40
hvízdavý	5	14	0	0	3	3	0	9	0	4	2	0	0	0	0	0	40
chrčivý	2	0	0	3	4	2	0	1	1	0	2	6	3	0	0	8	38
broušivý	6	0	4	0	0	2	0	3	0	4	0	6	0	0	0	6	37
chrastivý	0	0	4	0	2	1	0	0	0	0	0	14	0	3	1	0	37
vlnivý	2	0	4	7	5	0	0	5	6	1	1	0	4	0	0	1	36
měkký	0	0	1	1	1	4	7	1	2	2	0	0	2	7	9	2	32
šoupavý	0	0	3	0	3	4	1	0	1	0	0	4	1	3	5	3	29
valivý	0	0	0	3	5	1	9	1	0	1	0	2	3	1	1	0	28
hladký	0	2	4	1	0	3	1	0	4	0	4	2	1	1	1	1	26
dutý	0	0	2	0	0	0	3	0	0	1	2	2	6	3	1	5	24
středový	2	1	2	1	1	2	0	2	4	0	0	0	2	1	0	7	24
fičivý	3	2	7	6	0	1	0	1	0	1	0	0	0	6	2	0	23
klidný	0	0	3	1	1	8	6	0	0	0	0	0	1	1	1	1	22
agresivní	9	4	0	0	0	0	0	0	2	5	1	0	0	0	0	0	21
dýšný	0	0	0	0	0	3	3	1	0	1	10	0	2	0	1	0	21
hvízdavý	0	0	0	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	21
pronikavý	2	5	2	0	2	1	0	3	0	5	0	0	0	0	0	1	21
hřmotný	0	0	2	2	0	1	6	0	0	0	0	0	5	2	4	0	20
syčivý	1	1	1	2	1	2	0	1	0	0	3	1	1	0	5	0	20
píšťalový	1	3	1	1	0	3	0	1	7	0	1	0	0	0	0	0	18
svišťivý	4	3	0	4	0	0	0	1	2	1	0	0	1	0	1	0	17
výrazný	0	0	1	2	2	2	0	1	2	0	2	1	3	1	0	0	17
průrazný	0	0	0	3	1	0	0	2	1	0	1	0	7	0	0	1	16
těžký	0	0	0	5	1	0	0	1	0	0	4	0	4	1	0	1	16
rotující	1	0	1	0	2	2	0	2	2	2	1	0	0	0	0	2	15
troubivý	1	0	0	2	0	3	0	1	2	3	0	0	0	0	0	3	15
řinčivý	0	0	0	0	0	4	0	2	0	0	1	3	0	3	0	2	15

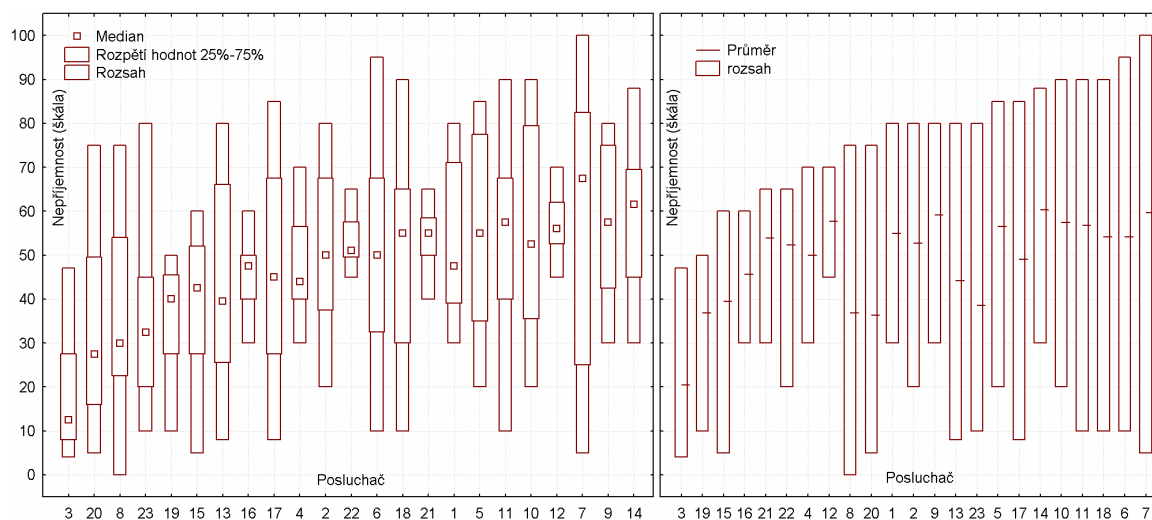
Interindividuální shoda respondentů

K posouzení interindividuální shody odpovědí respondentů byl použit *vnitrotřídní koeficient korelace*. U výsledků všech testů byl tento koeficient velmi vysoký (vyšší, než 0.95, přičemž spodní hodnota pro 99% interval neurčitosti byla u nepodobnostních dat párových testů 0.87 a u dat testů seřazení a odhadu magnitudy 0.88). U nepodobnostních dat nepříjemnosti a nepodobnosti byl také vypočten *koeficient reliability* Cronbachovo α . Při odstranění libovolného posluchače by tento koeficient měl mít nižší, či stejnou, hodnotu (přičemž nejnižší hodnota α byla 0.938). Tyto výsledky poukazují na statisticky významnou interindividuální shodu respondentů.

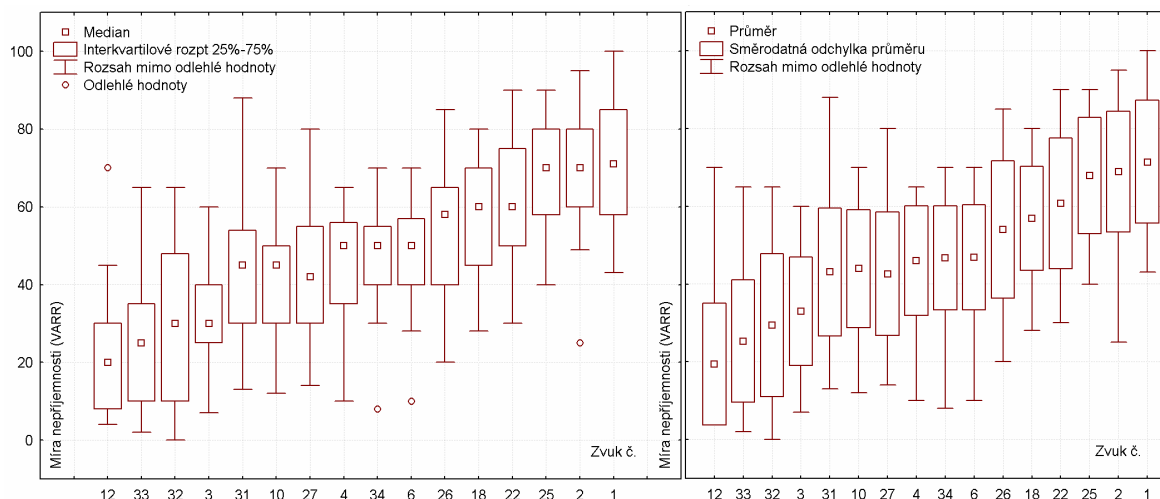
Přehled výsledků dat z testů VARR pro drsnost a nepříjemnost

Hodnocení míry nepříjemnosti bylo získáno v testu VARR i metodou preferenční volby, která byla součástí párově-srovnávacího testu.

Respondenti se lišili v míře, kterou hodnotili nepříjemnost podnětů v testu VARR na nízkém i vysokém rozsahu škály (viz Obr. x). V tomto testu byli respondenti instruováni vystihnout hodnoty vůči maximálním možným hodnotám. Administrátor testu vždy důrazně respondenty upozornil na tuto škálu, přesto část respondentů nevyužila celý rozsah. Hodnota nepříjemnosti byla pro nejméně jeden zvuk u 1/2 respondentů $>1/4$ rozsahu škály maximální nepříjemnosti. Nejnižší prům. hodnoty nepříjemnosti (< 40) mají zvuky č. 12, 33, 32 a 3, nejvyšší prům. hodnoty nepříjemnosti mají zvuky č. 1, 2, 25, 18, 26 a 6 (viz Obr. 8)



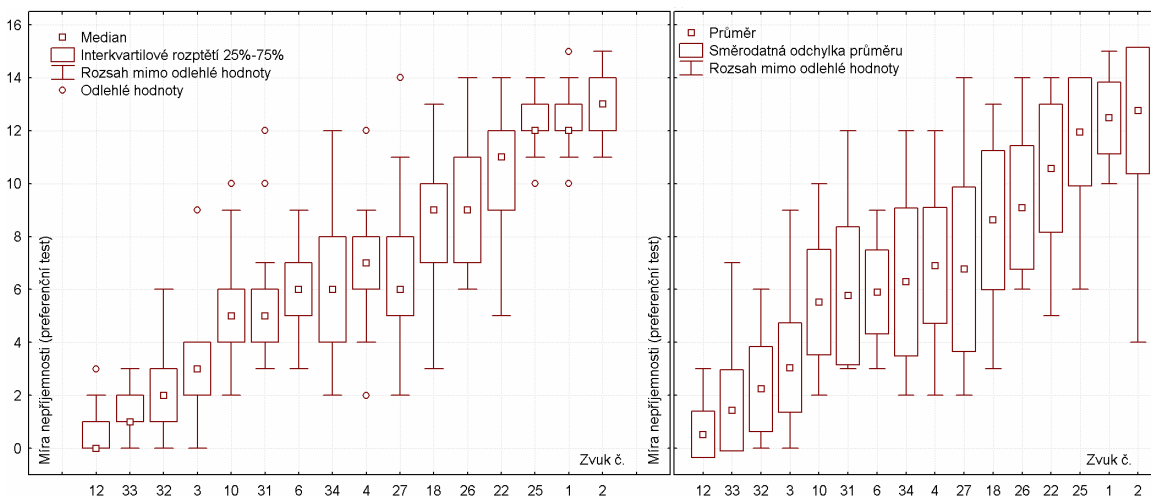
Obr. 7: Rozsah hodnot míry nepříjemnosti hodnocené jednotlivými respondenty v poslechovém testu metodou VARR. Vlevo: Seřazeno dle průměru. Vpravo: Seřazeno dle nejvyšší hodnoty nepříjemnosti každého respondenta.



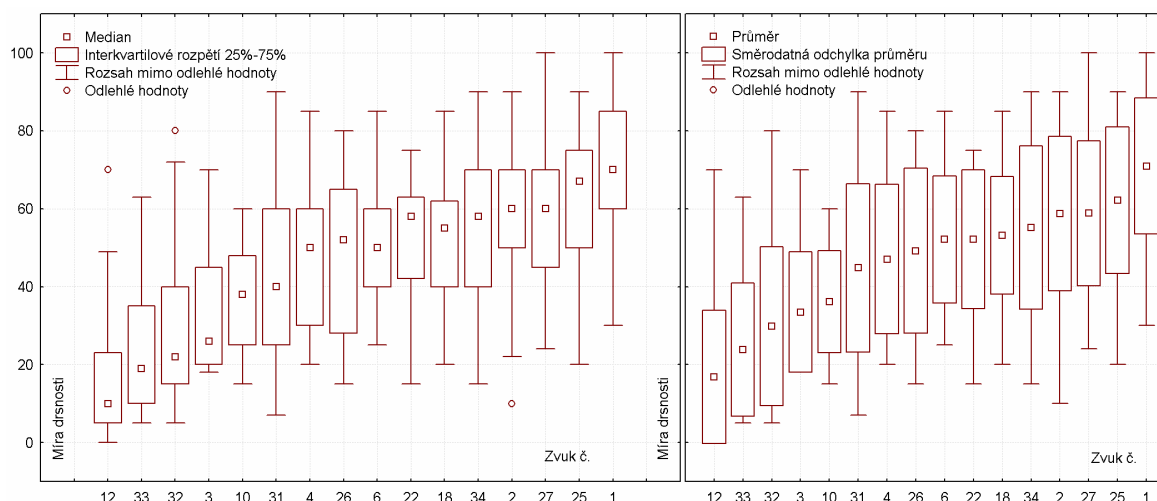
Obr. 8: Rozsah hodnot míry nepříjemnosti zvuků, test VARR, seřazeno dle průměru. Vlevo: Medián. Vpravo: Průměr

V testu VARR byl rozdíl minimální maximální nepříjemnosti zvuku 49.7 stupňů škály. Průměrná hodnota nepříjemnosti nejvíce nepříjemného zvuku 68.4 (směrodatná odchylka průměru 15.5), a nejméně nepříjemného 18.6 (směr. Odch. prům.15.3). Největší směrodatnou odchylku průměru měl zvuk 32 (směr. odch 17.9). Prům. nepříjemnost všech zvuků byla 45,2 stupňů škály. Pro interpretaci percepčního prostoru byla užito skóre nepříjemnosti z preferenčního testu (kolikrát byl v páru daný zvuk označen jako nepříjemnější), které poskytovalo podobné hodnoty, avšak směr. odch. průměru byla nižší (Obr. 9).

V testu VARR hodnocení drsnosti (Obr. 10) měly nejnižší prům. hodnoty drsnosti (<40) zvuky 12, 33, 32, 3 a 10. Tyto zvuky mají také nejmenší prům. nepříjemnost. Zvuky 1, 2, 25, 27, a 34 mají prům. hodnoty míry drsnosti > 55.



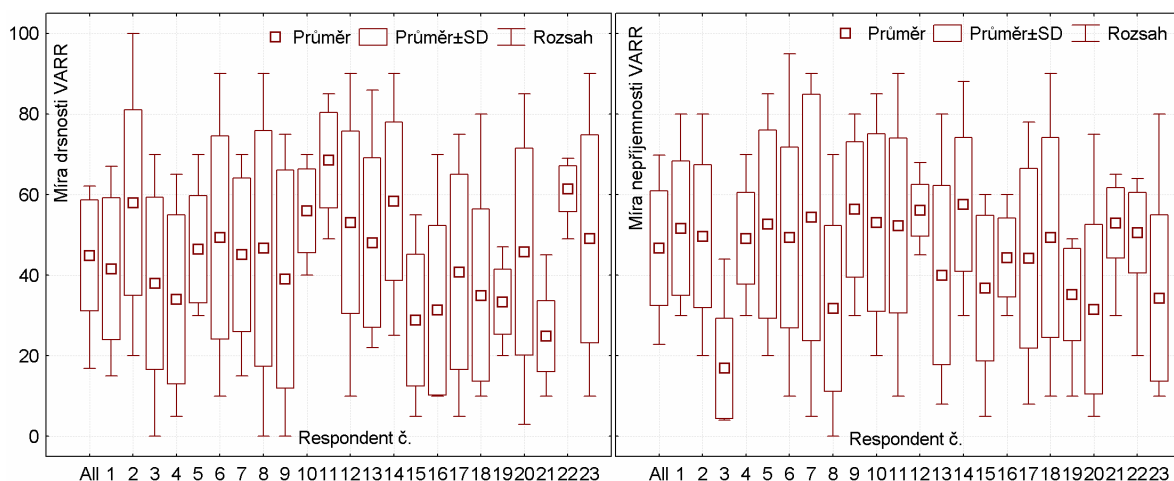
Obr. 9: Preferenční skóre hodnot míry nepříjemnosti zvuků, preferenční test, seřazeno dle průměru. Vlevo: Medián. Vpravo: Průměr.



Obr. 10: Rozsah hodnot míry drsnosti zvuků, test VARR, seřazeno dle průměru. Vlevo: Medián. Vpravo: Průměr

Zpracování dat z testů VARR pro drsnost a nepříjemnost:

Hodnoty míry drsnosti a nepříjemnosti získané od jednotlivých účastníků v poslechových testech VARR byly posouzeny z hlediska využití škály (viz Obr. 11 s krabicovými grafy znázorňujícím min. a max. hodnoty, průměr a směrodatnou odchylku hodnocení všech 16 zvuků pro každého respondenta) z hlediska normality získaných hodnocení na jednotlivých zvucích (viz Obr. 12 s ukázkou rozdílu získaných normovaných hodnot od hodnot teoretického normálního rozdělení).



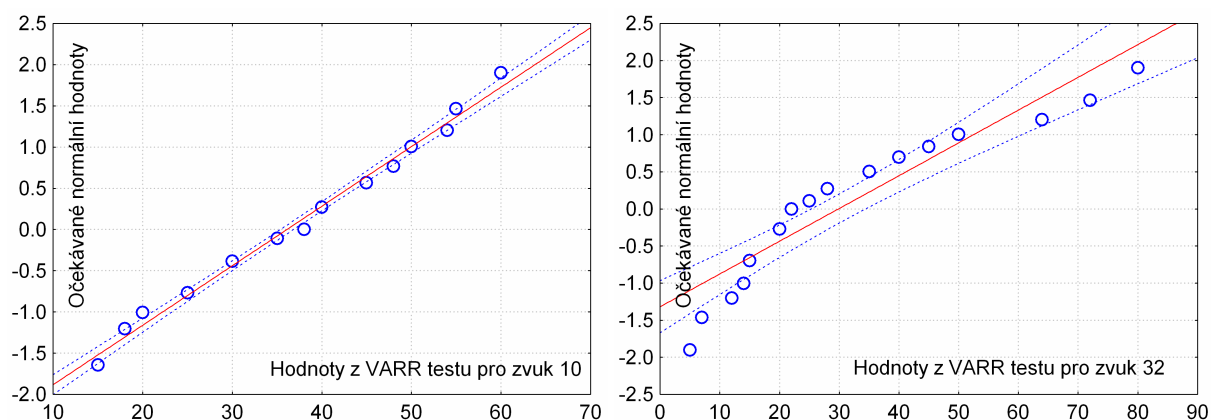
Obr. 11: Využití škál hodnocení drsnosti (vlevo) a nepříjemnosti (vpravo) jednotlivými respondenty v poslechovém testu metodou VARR (hodnoty All představují průměr hodnot respondentů 1 až 23).

Z grafů na Obr.11 je patrné, že respondenti své škály nezakotvili na stejných minimálních a maximálních hodnotách. Po znormování (viz rovnice [1]) (Statistica) již vykazovaly hodnoty pro jednotlivé zvuky získané od jednotlivých respondentů zanedbatelné odchylky od normálního rozdělení.

$$X_j' = \frac{X_j - X_{\max}}{\text{Min}(X_j) - \text{Max}(X_j)} \quad [1]$$

X_{\max} největší hodnota ve všech proměnných, $\text{Min}(X_j)$ nejmenší hodnota v proměnné j , $\text{Max}(X_j)$ největší hodnota v proměnné j

Odchyly jsou prezentovány na Obr. 12. Protože tyto grafy byly obdobné pro všechny zvuky, vzhledem k úspoře místa jsou v této práci na Obr. 12 uvedeny jen ukázky pro vjem drsnost a pro zvuk 10 (ukázka nejčastějšího normálního rozdělení, vlevo) a zvuk 32 (ukázka nejvíce odchylného rozdělení, vpravo).

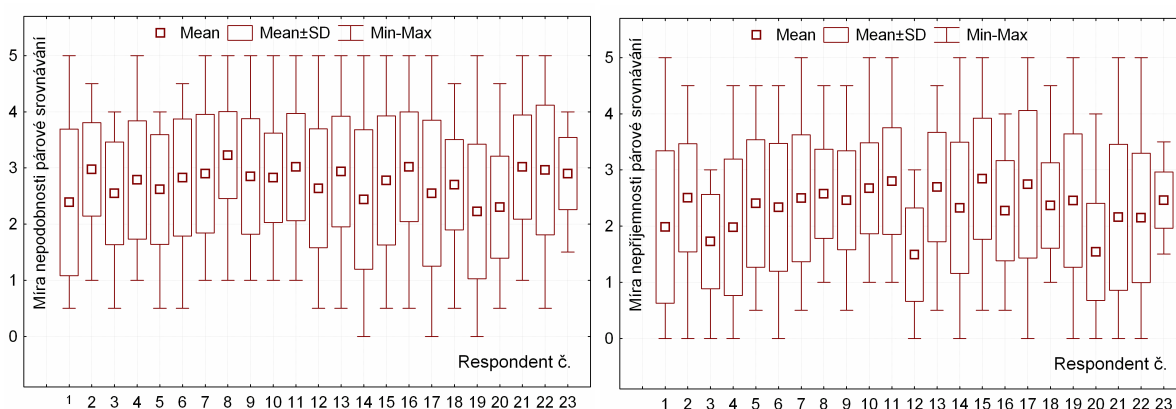


Obr. 12: Ukázky porovnání očekávaných hodnot normální pravděpodobnosti s hodnotami získanými v poslechovém testu metodou VARR. Vlevo pro zvuk č. 10 (obdobný průběh se vyskytoval u 2/3 všech zvuků), vpravo pro zvuk č. 32 (vybrána ukázka zvuku nejvíce odchylného od normálního rozdělení, zbývající 1/3 zvuků měla odchylky menší). Čárkovaně vyznačen konfidenční interval 0.95.

Na základě těchto analýz bylo možné použít pro získání míry drsnosti a nepříjemnosti z testů VARR hodnoty průměru normovaných hodnot všech respondentů (na Obr. 11 označeny All).

Zpracování dat z testů párového srovnávání nepodobnosti a nepříjemnosti:

V poslechovém testu metodou párového srovnávání byla od jednotlivých respondentů získána jak hodnocení nepodobnosti, tak nepříjemnosti. Celkem každý respondent posuzoval 120 párů zvuků, takže výsledkový soubor obsahoval pro každého respondenta 120 hodnot (po převedení z matice 16x16 na řetězový soubor). I zde, obdobně jako u zpracování VARR testů (viz popis v předchozím odstavci), byla použita inspekce dat, jejímž cílem bylo identifikovat rozdílné přístupy jednotlivých respondentů k hodnocení a určení, zda je třeba rozřazení určitých respondentů do samostatných shluků s podobným percepčním modelem, nebo jsou rozdíly nevýznamné a je možné respondenty považovat za skupinu jednu.



Obr. 13: Využití škál hodnocení nepodobnosti (vlevo) a nepříjemnosti (vpravo) jednotlivými respondenty v poslechovém testu metodou párového srovnávání.

Z těchto důvodů byla zaměřena pozornost na využití škál. Z krabicových grafů na Obr. 13 je patrné, že respondenti neměli ukotvení škály nepodobnosti ani nepříjemnosti v párovém testu

stejně. Jelikož i v párovém testu, stejně jako v testu VARR, po odstranění rozdílu mezi respondenty v zakotvení jejich škál znormováním jejich nepodobnostních hodnot (viz rovnice [1]) nebylo nutné dělit respondenty do více shluků, mohly být k následnému sestavení percepčně-emočního prostoru nepříjemnosti použity hodnoty vypočtené jako průměr hodnot všech respondentů (hodnoty All). Obdobně tomu bylo i u vnímané nepodobnosti v barvě, ale konstrukce percepčního prostoru barvy zvuku v zadání diplomové práce nebyla, takže výsledky zde nebudou prezentovány. Data budou sloužit k navazujícímu výzkumu.

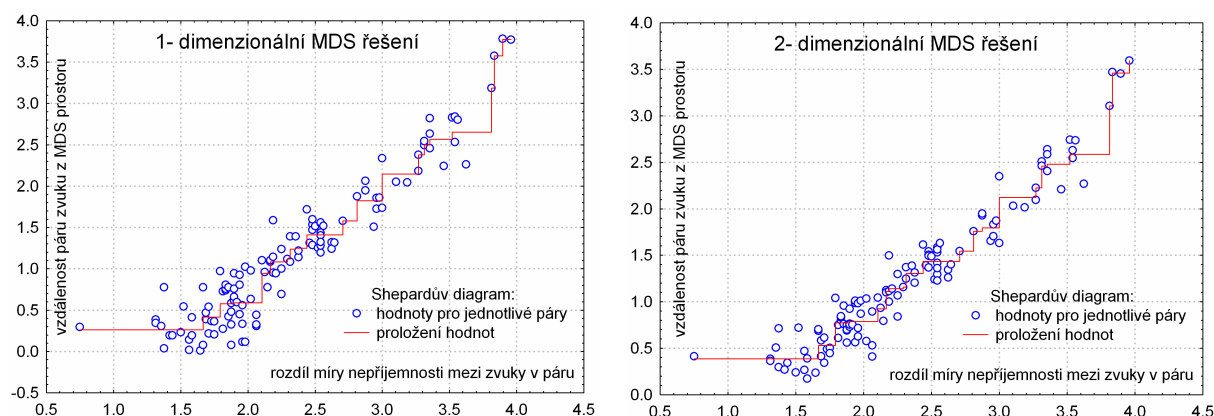
Prostor nepříjemnosti

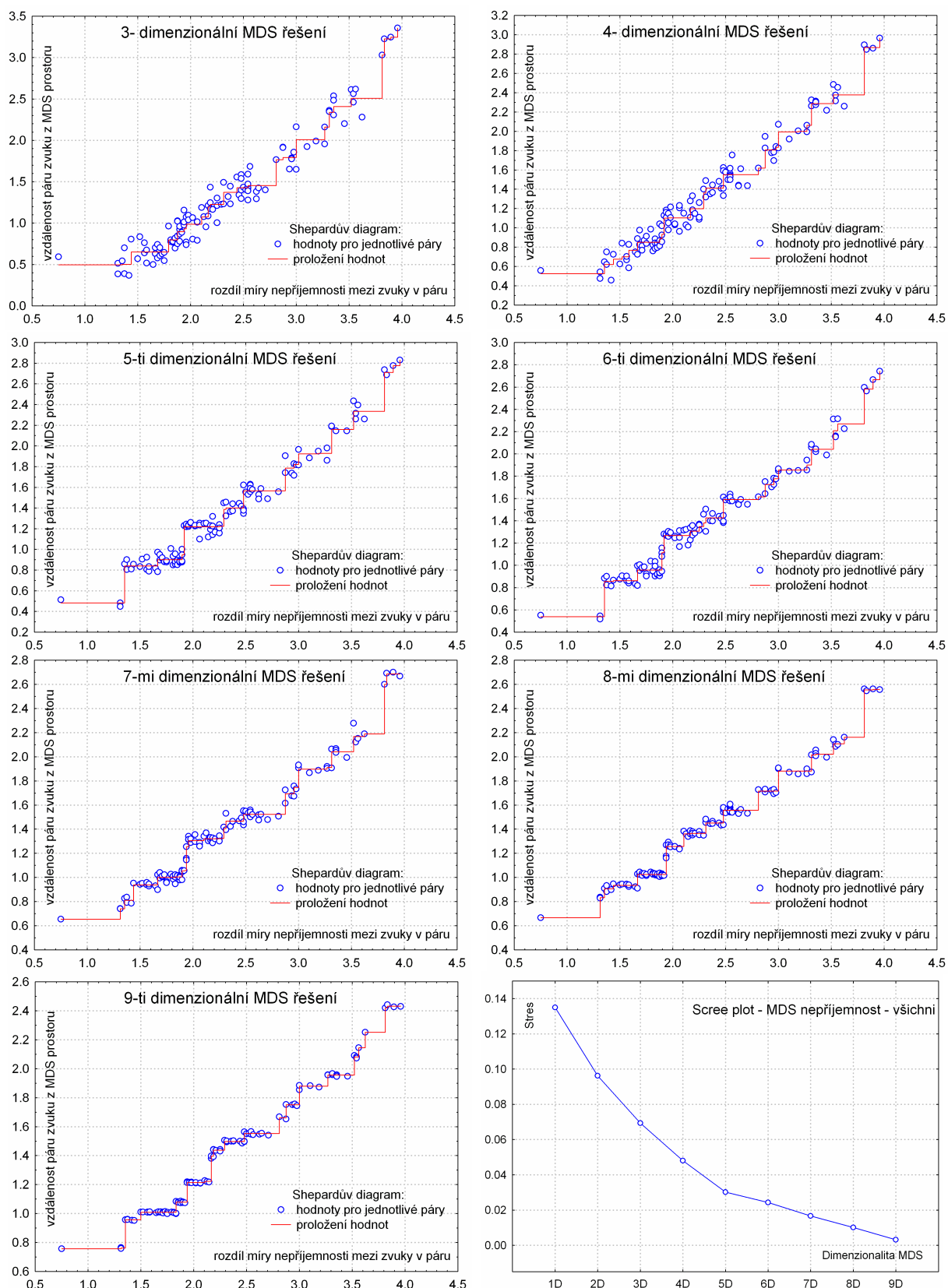
V návaznosti na výzkumy citované v podkapitolách Teretické části I. Problematika hluku a hlukového znečištění a II. Vnímání hluku byl pro účely této práce použit koncept obtěžování hlukem použitý ve studiích hlukové zátěže, který vychází z úměry mezi hlukovou zátěží, mírou obtěžování hlukem a vnímanou mírou nepříjemnosti hluku. Ke zodpovězení výzkumné otázky ze zadání této práce, zda je drsnost zvuku faktorem hlukového znečištění a jaké jsou její podoby, byla proto zvolena metoda sestavení prostoru hodnocení nepříjemnosti a do něj vnoření vnímaných vlastností, které respondenti popsali v poslechových testech.

K sestavení prostoru nepříjemnosti byly použity zprůměrované hodnoty rozdílu míry nepříjemnosti mezi zvuky v párech (nepříjemnostní nepodobnosti) od všech respondentů (viz předchozí odstavec) a metoda MDS (Statistica). V software pro výpočet MDS prostorů byly postupně vypočteny dimenzionality od 1D do 9D. Ke stanovení potřebného počtu dimenzí, které by nejlépe vystihovaly variabilitu nepodobnostních dat, byly posouzeny Shepardovy diagramy, ve kterých je možné porovnat vzdálenosti mezi objekty (zde zvuky) v MDS prostoru s mírou nepodobnosti vloženou jako vstupní data k uspořádání v tomto prostoru (viz Obr. 14), a suťový graf (scree plot), ve kterém lze se zvyšujícím se počtem dimenzí prostoru sledovat pokles hodnoty stresu (tzn. zbývající variability dat zůstávající jako chybné vystižení vstupní nepodobnosti vypočtenými vzdálenostmi, viz Obr. 14 vpravo dole),

Z Shepardových diagramů na Obr.14 shora dolů je patrné, že s přibývající dimenzionalitou úbyvá nejednoznačnosti ve vzestupných řadách obou porovnávaných hodnot. V málo dimenzionálních MDS prostorech je přiřazováno určité vstupní hodnotě více různých MDS hodnot, takže určitá nepodobnost může být reprodukována jak s menší, tak i větší vzdáleností. V 9D prostoru na Obr. 14 vlevo dole je jedna určitá MDS vzdálenost přiřazena hodnotám v rozmezí použité škály odstupňované po 0.5 krocích.

Ze grafu Scree plot na Obr.14 vpravo dole je patrné, že úbytek stressových chybových hodnot nemá výrazný zlom, takže i při zvýšení dimenzionality z 8D na 9D dojde k obdobnému poklesu, jako z 6D na 7D. Všechny tyto ukazatele nasvědčují, že je potřebné použít k dodržení všech trojúhelníkových rovností ve variabilitě dat velmi vysoký počet dimenzí (zde 9D, viz též dále v odstavci Vnoření hlavních vnímaných vlastností do MDS prostoru nepříjemnosti).



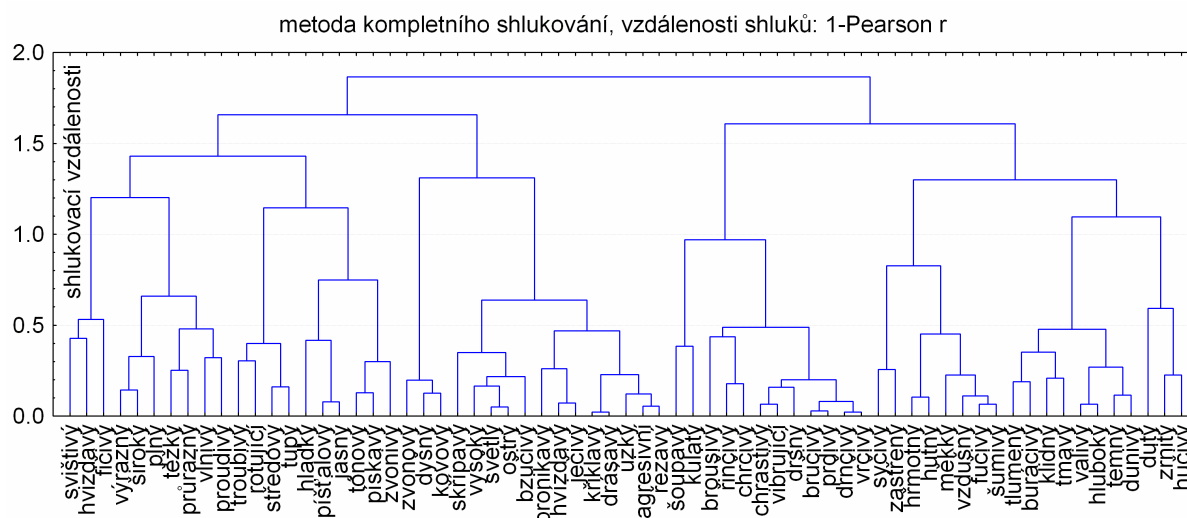


Obr. 14: Shora dolu: Shepardův diagram závislosti vzdálenosti mezi jednotlivými zvuky v N rozměrném MDS prostoru (N od 1 do 9) na mírách rozdílu nepříjemnosti (nepříjemnostní nepodobnosti) jim odpovídajících párů zvuků, které byly vloženy jako vstupní data. Vpravo dole: Scree plot závislosti Stresu (zbývající variability dat zůstávající jako chybné vystižení vstupní nepříjemnostní nepodobnosti vypočtenými MDS vzdálenostmi) na dimenzionalitě MDS prostoru.

Slovní deskriptory vlastností ke vnoření do MDS prostoru nepříjemnosti

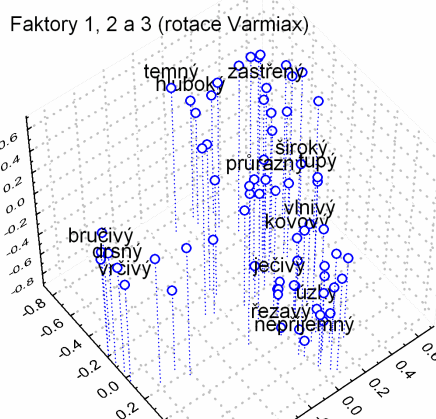
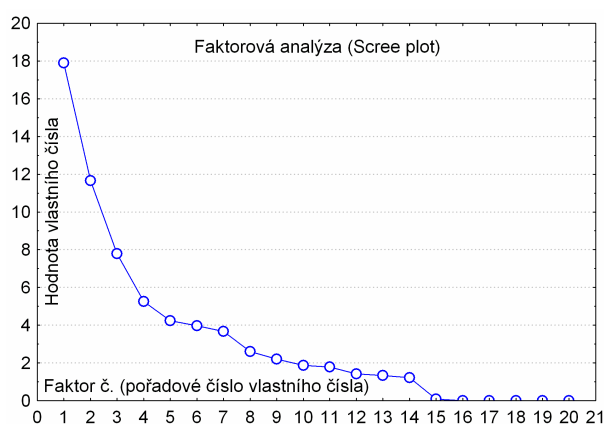
V Tabulce 5 je uvedeno 67 slov, kterými respondenti nejčastěji popisovali vnímané vlastnosti zvuku. Jelikož však některé tyto slovní deskriptory se vyskytovaly shodně na totožných zvucích, z hlediska statistické analýzy by je nebylo možné odlišit, i kdyby popisovaly rozdílný typ vjemu. Pro účely interpretace dimenzí v MDS prostoru by je bylo zbytečné vnořovat samostatně, každý deskriptor zvlášť. Proto byl jejich počet redukován za použití shlukové a faktorové analýzy hodnot četnosti výskytu daného deskriptoru na jednotlivých zvucích. K určení vzdálenosti mezi deskriptory byly použity pearsonovy korelace uvedených hodnot.

Shluková analýza metodou kompletního shlukování (complete linkage) ukázala řadu velmi blízkých souvislostí mezi deskriptory (viz Obr. 15). K identifikaci adeptů ke společnému vnoření byla použita shlukovací vzdálenost 0 až 0.5).



Obr. 15: Spojení slovních descriptorů na základě korelací četností výskytu na jednotlivých zvucích.

Faktorová analýza (Statistica) ukázala, že je potřebné použít cca 10 faktorů (viz graf typu Sree plot na Obr. 16 vlevo), které vyčerpávají dohromady 92% variability.



Obr. 16: Vlevo: Vlastní čísla jednotlivých faktorů získaných z hodnot slovních descriptorů na jednotlivých zvucích (Sree plot). Vpravo: Zobrazení faktorového prostoru pro 1., 2. a 3. faktor, které dohromady vyčerpávají 55% variability dat. Slovy popsány pozice descriptorů, které leží přibližně na osách těchto faktorů.

Pro orientaci je zde uvedena též ukázka výsledného faktorového prostoru pro první tři nejsilnější faktory (faktor 1 až 3) se zobrazením těch slov (Obr. 16 vpravo), která měla vždy na jednom z těchto faktorů největší kladnou nebo zápornou hodnotu a na zbývajících přibližně nulovou (tyto deskriptory v 10 faktorovém prostoru po rotaci metodou Varimax leží na osách faktorů). Je zde patrné, že např. deskriptory bručivý, drsný a vrčivý nelze od sebe dle hodnot těchto faktorů odlišit a jsou tak adepty na společné vnoření do MDS prostoru.

Tímto postupem, v kombinaci s četností výskytu a shody respondentů, bylo vybráno jen 13 vlastností popsaných reprezentujícími deskriptory, které byly do MDS prostoru vnořeny pomocí vícenásobné regrese. Reprezentující deskriptory pro vnoření vybrané pomocí faktorů a četností jsou uvedeny v Tabulce 5 zeleně. Černě jsou zde další slova, která měla největší výskyt a hnedě jsou základní sledované vlastnosti nepříjemný a drsný.

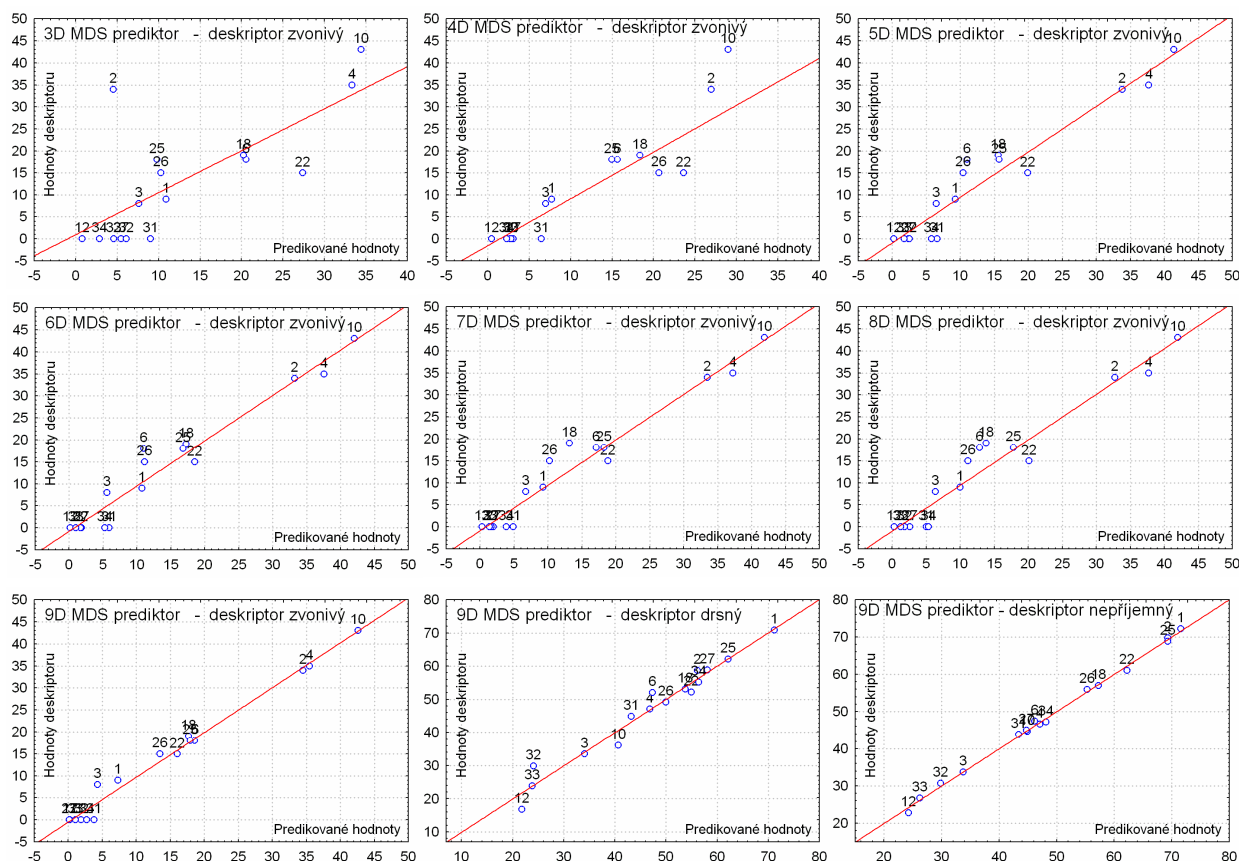
Tabulka č. 5: Seznam deskriptorů ležících přibližně na osách faktorů (kurzivou jsou deskriptory mající nenulové hodnoty v dalších faktorech. V horní části jsou slova z kladného konce os (+), ve střední části ze záporné části (-), v dolní části je seznam reprezentujících deskriptorů pro vnoření.

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10
+	dunivý hluboký temný valivý tlumený burácivý	bručivý drnčivý vibrující chrastivý prdivý vrčivý	široký hučivý	tupý středový kulatý	kovový zvonový zvonivý	vzdušný fučivý šumivý syčivý zastřený měkký šoupavý	dutý	píšťalový jasný hladký	hvizdavý	fičivý
-	ostrý vysoký	tónový pískavý	úzký	ječivý	tmavý	ostrý pronikavý	plný	pronikavý	zrnitý	
reprezen- tanti	dunivý	vrčivý, pískavý	hučivý	řezavý	zvonivý	šumivý	ostrý	skřípavý	bzučivý	fučivý drsný nepříjemný

Vnoření hlavních vnímaných vlastností do MDS prostoru nepříjemnosti

K interpretaci mnohadimenzního MDS prostoru nepříjemnosti byla použita metoda vícenásobné regrese. Bylo testováno vnoření do prostorů s dimenzionalitou od 3D do 9D a lineární i logaritmický vztah vnořované závisle proměnné na hodnotách predikčních MDS dimenzí. Při lineárním vztahu byla velká odchylka vložených hodnot a hodnot předikovaných pomocí regresního vztahu na malých a na velkých hodnotách deskriptoru. Logaritmický vztah při vyšším počtu predikčních dimenzí poskytoval velice dobré vystižení vložených hodnot a tedy velmi malou chybu predikce (byl proto použit pro vnoření všech deskriptorů). Ukázka zlepšování úspěšnosti predikce s vyšším počtem MDS dimenzí je na Obr. 17. Příklad je pro vnoření deskriptoru zvonivý (kovový), ale obdobné zmenšování rozptylu kolem přímky se vyskytovalo i u všech dalších vnořených deskriptorů. Ve všech případech byla nejlepší predikce hodnot deskriptoru pomocí hodnot 9D MDS řešení (více nebylo možné testovat, jelikož použitý MDS software prostory s vyšší dimenzionalitou nestavoval).

Pro umístění 16 zvuků do MDS prostoru není doporučována vyšší dimenzionalita než 4D (Melka 2005). V této práci, z důvodů lepšího zachování nepodobnostních rozdílů mezi zvuky a očekávané přítomnosti cca 10 faktorů daných nezávislými slovními deskriptory, bylo pro interpretaci prostoru výše uvedenými slovními deskriptory použito 9D MDS řešení. Jelikož byly testovány i nižší dimenzionality, autor si je vědom, že se jedná o nestandardní přístup, který má odůvodnění jen tím, že výsledky jsou takto více v souladu s intuitivně subjektivně vnímanými vztahy mezi vlastnostmi objektů. Vztahy mezi vnímanými vlastnostmi zvuku a pocitem nepříjemnosti, které jsou uvedené v závěru, byly takto zřetelné a v souladu s prodiskutovanými zkušenostmi některých respondentů autora až při použití takto vysokého počtu dimenzí.

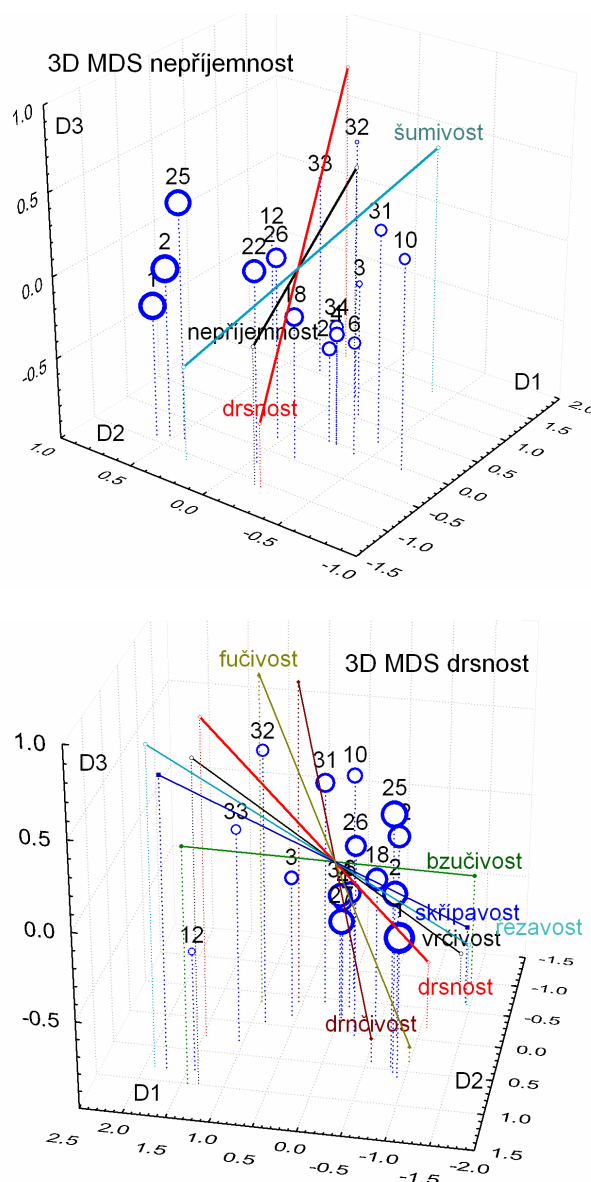


Obr. 17: Shora dolů: Vystižení hodnot vlastnosti *zvonivý* pomocí hodnot jednotlivých zvuků na osách 3D až 9D MDS prostoru nepříjemnosti použitých jako predikátory. Dole uprostřed: Vystižení hodnot vlastnosti *drsný* v tomtéž 9D prostoru. Dole vpravo Vystižení hodnot pocitu nepříjemný v tomtéž 9D prostoru.

Ověření hypotézy o vztahu nepříjemnosti a drsnosti

Jelikož v zadání této práce bylo ověření hypotézy, že drsné hlukové podněty se budou vyznačovat větší nepříjemností, byly do MDS prostoru nepříjemnosti vnořeny i drsnost (škálována metodou VARR) a nepříjemnost z četnosti preference daného zvuku v páru v párovém srovnávání. I jejich hodnoty nejlépe predikovalo 9D MDS řešení (viz Obr. 17 dole uprostřed a dole vpravo) a obě byly vnořeny velmi úspěšně, bez rozptylování se od regresní přímky. Z jednoznačné gradace drsnosti v nepříjemnostním prostoru vyplývá, že drsnost skutečně je parametrem (faktorem) v nepříjemnostním prostoru.

Grafické zobrazení objektů umístěných ve více než 3D prostoru je možné jen po částech v nanejvýš 3D podprostorech. Proto pro vizuální přehled vztahů mezi nepříjemností, drsností a vnořenými deskriptory byl použit podprostor se zobrazením jen prvních tří dimenzí. Obr. 18 nahoře ukazuje průběh gradace nepříjemnosti (černě) v kontextu použitých zvuků (číslo zvuku je umístěno nad pozici zvuku vyznačené kruhem o velikosti, která je úměrná míře nepříjemnosti: čím větší kruh, tím větší nepříjemnost). Gradace drsnosti (červeně) však neprobíhá souběžně s gradací nepříjemnosti. Obě přímky mají mezi sebou prostorový úhel cca 35°. Z tohoto lze usuzovat, že by drsnost nemusela být jediným faktorem nepříjemnosti. Např. z dalších vlastností vnořených do MDS prostoru se ještě ukázala nepřímá úměrnost s vlastností šumivost (viz světle modré vyznačení gradace šumivosti na Obr. 18 nahoře). Zvuky, které byly více šumivé, respondenti označovali jako méně nepříjemné. Míra nepříjemnosti na kontextu těchto zvuků je tak dána kombinací drsnosti a šumivosti.



Obr. 18: První 3 dimenze MDS prostoru nepříjemnosti. Nahoře: Gradace nepříjemnosti (černě), drsnosti (červeně) a šumivosti (světle modře) v tomto prostoru (velikost kruhových symbolů umístění zvuku v prostoru je úměrná míře nepříjemnosti). Dole: Gradace drsnosti (červeně), drnčivosti (fialově), fučivosti (okrově), vrčivosti (černě), řezavosti (světle modře), skřípavosti (modře), bzučivosti (zeleně) ve stejném prostoru (velikost kruhů je úměrná míře drsnosti).

Druhá hypotéza k výzkumné otázce ze zadání projektu zněla: Drsnost u hlukových podnětů není jednorozměrná, hlukové podněty se budou lišit také kvalitativně.

Pro zodpovězení, zda se zvuky liší kvalitativně a zda je drsnost vícerozměrná, byly v grafickém zobrazení prvních tří dimenzí MDS prostoru nepříjemnosti ke gradaci drsnosti (červeně na Obr. 18 dole) přidány gradace dalších slovních deskriptorů vnímaných vlastností: drnčivost (fialově), fučivost (okrově), vrčivost (černě), řezavost (světle modře), skřípavost (modře) a bzučivost (zeleně). Všechny tyto vlastnosti gradují prostorem obdobně jako drsnost (odklon prostorového úhlu do 45°). Výsledky poslechového testu tak objektivně potvrdily subjektivní poznatky respondentů, že čím je zvuk drnčivější, vrčavější, řezavější, skřípavější nebo bručí-

větší, tím je drsnější. Vlastnost fučivý měla opačný směr gradace prostorem, takže může být samostatnou vlastností. Z daného kontextu to však nelze určit. Vlastnosti dunivost, hučivost, zvonivost a pískavost gradují prostorem kolmo k drsnosti (není zobrazeno). Jsou tak na drsnosti pravděpodobně nezávislé.

Frekvenční analýza posuzovaných zvuků

V práci byla také provedena frekvenční analýza zvukových signálů metodou Fourierovy analýzy (integrační interval 9362 vzorků vážený funkcí Hanning). Účelem této analýzy bylo zdokumentovat frekvenční vlastnosti zvuků pro účely možného posouzení zvuků k možnému identifikování některých vlastností uvedených např. v McAlpine et al. (2007), Beckermans et al. (2006). Toto posouzení již nebylo cílem této práce, výsledky této analýzy jsou však uvedeny v příloze (viz Příloha č. 2).

Zvuky č. 1, 2, 22, 25, 34 měly ve frekvenčním pásmu 1200 – 2700 Hz výrazné blízko sebe ležící harmonické složky (viz Příloha, příklad červeně zvýrazněn), které byly dány do souvislosti s cirkulárním hlučím (Beckermans et al. 2006) Tyto složky mají v menší míře také zvuky 27, 31, 18. Zvuk 10 má tyto složky pouze ve frekvenčním pásmu 2200 Hz – 2800 Hz.. Zvuky 32, 33 a 12 tyto složky nemají (viz Příloha č. 2, příklad červeně zvýrazněn). Spojení slovních deskriptorů, které popisují tyto zvuky, viz Tabulka 6 a 7.

Zvuky 2 a 6 mají zřetelnou tónovou složku ve frekvenčním pásmu 1800 – 2300 Hz a zvuk 26, 18, 3 a 4 mají tuto tónovou složku ve frekvenčním pásmu 2300 – 2900 Hz.

Tabulka č. 6 deskriptory zvuků, které měly ve frekvenčním pásmu 1200 – 2700 Hz výrazné blízko sebe ležící harmonické složky (f_{abs} 350-10, seřazeno dle f_{abs} , červeně společné deskriptory)

Zvuk č.	Deskriptory, f_{abs} 350-10
1	řezavý, úzký, drásavý, ječivý, křiklavý, bzučivý
2	řezavý, ječivý, pískavý, bzučivý, úzký, zvonivý, hvízdavý
22	řezavý, bzučivý, zvonivý, jasný, pískavý, skřípavý
25	řezavý, bzučivý, pískavý, zvonivý, ječivý, tónový
34	vrčivý, šumivý, řezavý, drnčivý, tupý, skřípavý, drsný
10	pískavý, hučivý, zvonivý

Tabulka č. 7 deskriptory zvuků, které nemají výrazné blízko sebe ležící harmonické složky (f_{abs} 350-10, seřazeno dle f_{abs} , červeně společné deskriptory)

Zvuk č.	Deskriptory, f_{abs} 350-10
33	šumivý, fučivý, šumový, hučivý, vzdušný, burácivý
12	dunivý, šumivý, temný, hučivý, burácivý, hluboký, tmavý
32	šumivý, hučivý, fučivý, tlumený a vzdušný

4. Závěr

I. Souhrn práce

Cílem této práce bylo prozkoumat vlastnosti složek zvuku způsobujících nepříjemnost a představujících tak hlukovou zátěž přirozeného prostředí leteckým hlukem. V práci byly provedeny binaurální záznamy leteckého hluku letadel během vzletu v ose dráhy letiště Václava Havla v Praze a následně byl proveden poslechový test s posluchači. V práci byly zaznamenávány zvuky, které odpovídají části hlukové události, ve které lze předpokládat vliv některých fyzikálních dějů zdroje hluku na kvalitu zvuku (tónové a subharmonické složky a cirkulárkový hluk). Obě hypotézy uvedené v zadání projektu byly potvrzeny (viz odstavec Ověření hypotézy o vztahu nepříjemnosti a drsnosti).

Práce rozšířila současné poznatky o drsnosti hlukových podnětů odhalením konkrétních možných podob drsnosti u hlukových podnětů (např. atributy řezavost, drnčivost, vrčivost či bzučivost). Byly také rozšířeny poznatky o vícerozměrnosti drsnosti, učiněné autorem v oblasti hudebního zvuku (Otčenášek 2013) na hlukové znečištění a poznatky o hluku letecké dopravy obecně (konkrétně hluk letadel během vzletu, který je např. součástí výzkumné problematiky cirkulárkového hluku). Tyto poznatky mohou být podstatné pro vývoj lepších modelů drsnosti zvuku i ukazatelů hlukového znečištění.

Byla také zkoumána souvislost vnímaných vlastností s cirkulárkovým hlukem na základě spektrálního vymezení (Beckermans et al. 2006). Tyto zvuky byly označeny jako řezavé, ječivé, drsné a ostré (či další získané deskriptory).

V práci také byly vypracovány frekvenční slovníky zúčastněných posluchačů (laiků, expertních posluchačů i společný slovník) popisující podněty zaznamenané v této práci. Tyto slovníky jsou prvotním výzkumem dané problematiky popisu působení hluku v prostředí na člověka a představují popisná slova, kterými posluchači daný hluk popisovali (viz Obr. 3 a Tabulka č. 2.).

Všechny uvedené výsledky jsou využitelné v dalším výzkumu leteckého hluku a obtěžování hlukem, a mohou mít přesahy do oblasti aplikovaných opatření snížení leteckého hluku (viz odstavec Opatření ochrany před hlukem).

II. Doporučení pro navazující práci

Drsnost je zřejmě u hlukových podnětů obtěžujícím faktorem. Při stejné hlasitosti vyšší míra drsnosti zvuku souvisela s větší mírou pociťované nepříjemnosti.

Další výzkumy např. v šetření obtěžování obyvatel v daných lokalitách by mohly na tyto výsledky dále navázat. Za předpokladu, že budou hypotézy o vlivu drsných a nepříjemných složek leteckého hluku na obtěžování či kvalitu života obyvatel v postižených lokalitách ověřeny, může být v celospolečenském zájmu tyto faktory zohlednit v protihlukových opatřeních (dobrovolných či zákonných). Pokud by došlo k potvrzení této závislosti a dalšímu potvrzení zdravotních dopadů, mohl by tento charakter hluku být zohledněn v ochranných zákonných opatřeních, například adekvátními korekcemi (viz odstavce Korekce, Kritéria změny legislativy). Také problematika cirkulárkového zvuku je z hlediska hlukového znečištění doposud prozkoumaná pouze v omezené míře a budoucí výzkumy by se mohly zaměřit na její lepší uchopení a kvantifikaci. Výzkum by tak měl být dále zaměřen na postupné zohlednění těchto aspektů (například drsnosti) u indikátorů hlukového znečištění a zátěže.

Bibliografický seznam literatury

ANDRINGA, Tjeerd C. a Jolie J. L. LANSER. (2013) How pleasant sounds promote and annoying sounds impede health: A cognitive approach. *International journal of environmental research and public health*. roč. 10, čís. 4, s. 1439-1461.

ANTOINE, Nicolas E. a Ilan M. KROO. (2005) Framework for aircraft conceptual design and environmental performance studies. *AIAA journal*, roč. 43, čís. 10, s. 2100-2109.

ARNAL, Luc H., et al. (2015) Human screams occupy a privileged niche in the communication soundscape. *Current Biology*. roč. 25, čís. 15, s. 2051-2056.

ASTLEY, R. J., et al. (2007) Predicting and reducing aircraft noise. In: *Proceedings of the Fourteenth International Congress on Sound and Vibration 2007* [CD]. Cairns, Australia: Australian Acoustical Society.

ATKINSON, Rita L. (2003) *Psychologie*. Praha: Portál, 751 s. ISBN 80-7178-640-3.

AURES, W. (1985) A procedure for calculating auditory roughness. *Acustica*. roč. 58, čís. 5, s. 268-281.

AURES, W. (1985b) Sensory pleasantness as a function of psychoacoustic sensations. *Acustica*, roč. 58, s. 282-290.

AYALA, Yaneri A. a Manuel S. Malmierca. (2013) Stimulus-specific adaptation and deviance detection in the inferior colliculus. *Frontiers in neural circuits*, roč. 6, s. 359-375.

BABISCH, W., et al. (2001) Increased catecholamine levels in urine in subjects exposed to road traffic noise: the role of stress hormones in noise research. *Environment international*, roč. 26, čís. 7, s. 475-481.

BABISCH, Wolfgang, et al. (2009) Annoyance due to aircraft noise has increased over the years—results of the HYENA study. *Environment international*. roč. 35, čís. 8, s. 1169-1176.

BABISCH, Wolfgang. (2002). The noise/stress concept, risk assessment and research needs. *Journal of Noise and Health*, roč. 4, čís. 16, s. 1-11.

BARBER, Jesse R., et al. (2011) Anthropogenic noise exposure in protected natural areas: estimating the scale of ecological consequences. *Journal of Landscape ecology*. roč. 26, čís. 9, s. 1281-1295.

BARBER, Jesse R., et al. (2011) Anthropogenic noise exposure in protected natural areas: estimating the scale of ecological consequences. *Landscape ecology*. roč. 26, čís. 9, s. 1281-1295.

BARBER, Jesse R., et al. (2011) Anthropogenic noise exposure in protected natural areas: estimating the scale of ecological consequences. *Landscape ecology*. roč. 26, str. 9, s. 1281-1295.

BARBER, Jesse R., Kevin R. CROOKS a Kurt M. FRISTRUP. (2010) The costs of chronic noise exposure for terrestrial organisms. *Trends in ecology and evolution*. roč. 25, čís. 3, s. 180-189.

BARTELS, Susanne, Ferenc MÁRKI, and Uwe MÜLLER. (2015) The influence of acoustical and non-acoustical factors on short-term annoyance due to aircraft noise in the field—The COSMA study. *Science of The Total Environment*. roč. 538, s. 834-843.

BASNER, Mathias, Barbara GRIEFAHN a Martin VAN DEN BERG. (2010) Aircraft noise effects on sleep: mechanisms, mitigation and research needs. *Journal of Noise and health*. roč. 12, čís. 47, s. 95-109.

BERCKMANS, Dries, et al. (2006) A new method for aircraft noise synthesis. In: *Proceedings of the International Conference on Noise and Vibration Engineering*. Leuven, Belgium: KU Leuven. s. 4257-4270, ISBN 90-73802-83-0.

BERGAN, Christine C. a Ingo R. TITZE. (2013) Perception of pitch and roughness in vocal signals with subharmonics. *Journal of Voice*, roč. 15, čís. 2, s. 165-175.

BERGLUND, Brigitta a Mats NILSSON. (2007) Master scaling in psychoacoustics. In: *Proceedings of the 19th International Congress on Acoustics 2007* [online]. Madrid, Spain, [cit. 2016-05-26]. s. 1-6. Dostupné z: http://www.sea-acustica.es/WEB_ICA_07/fchrs/papers/ppa-02-001.pdf

BERGMAN, Penny, et al. (2009) Perceptual and emotional categorization of sound. *The Journal of the Acoustical Society of America*. roč. 126 čís. 6, s. 3156-3167.

BIGAND, Emmanuel a Bénédicte POULIN-CHARRONNAT. (2006) Are we “experienced listeners”? A review of the musical capacities that do not depend on formal musical training. *Journal of Cognition*. roč. 100, čís. 1, s. 100-130.

BIGAND, Emmanuel, et al. (2005) Multidimensional scaling of emotional responses to music: The effect of musical expertise and of the duration of the excerpts. *Cognition and Emotion*. roč. 19, čís. 8, s. 1113-1139.

BIZLEY, Jennifer K. a Yale E. COHEN. (2013) The what, where and how of auditory-object perception. *Nature Reviews Neuroscience*. roč. 14, čís. 10, s. 693-707.

BJORK, E. A. (2002) Effects of inter-stimulus interval and duration of sound elements on annoyance. *Acta Acustica united with Acustica*. roč. 88, čís. 1, s. 104-109.

BLICKLEY, Jessica L., Diane BLACKWOOD a Gail L. PATRICELLI. (2012) Experimental evidence for the effects of chronic anthropogenic noise on abundance of greater sage-grouse at leks. *Journal of Conservation Biology*. roč. 26, čís. 3, s. 461-471.

BODDEN, Markus. (1997) Instrumentation for sound quality evaluation. *Acta Acustica united with Acustica*. roč. 83, s. 775-783.

BODDEN, Markus. (1993) The importance of binaural hearing for noise validation. In: *Contributions to Psychological Acoustics, Results of the 6th Oldenburg Symposium on Psychological Acoustics*. s. 537-554.

BOLUND, Per a Sven Hunhammar. (1999) Ecosystem services in urban areas. *Ecological economics*. roč. 29, čís. 2, s. 293-301.

BORST, Hieronymus C. a Henk M.E. Miedema. (2005) Comparison of noise impact indicators, calculated on the basis of noise maps of DENL. *Acta acustica united with acustica*. roč. 91, čís. 2, roč. 378-385.

BRADLEY, John S. (1994) Annoyance caused by constant-amplitude and amplitude-modulated sounds containing rumble. *Noise Control Engineering Journal*. roč. 42, čís. 6, s. 203-208.

BRADLEY, Margaret M. a Peter J. LANG. (2000) Affective reactions to acoustic stimuli. *Psychophysiology*. roč. 37, čís. 2, s. 204-215.

BROWN, A. L. a IRENE van KAMP. (2009) Response to a change in transport noise exposure: A review of evidence of a change effect. *The Journal of the Acoustical Society of America*. roč. 125, čís. 5, s. 3018-3029.

BRUINTJES, Rick a Andrew N. RADFORD. (2013) Context-dependent impacts of anthropogenic noise on individual and social behaviour in a cooperatively breeding fish. *Animal Behaviour*. roč. 85, čís. 6, s. 1343-1349.

BŘICHÁČEK, Václav. (1978) Úvod do psychologického škálování. Bratislava : Psychodiagnostické a didaktické testy, 321 s.

Busch-Vishniac, Ilene J., et al. (2005) Noise levels in Johns Hopkins hospital. *The Journal of the Acoustical Society of America*. roč. 118, čís. 6, s. 3629-3645.

CACLIN, Anne, et al. (2005) Acoustic correlates of timbre space dimensions: A confirmatory study using synthetic tones. *The Journal of the Acoustical Society of America*. roč. 118, čís. 1, s. 471-482.

- COHEN, Sheldon a Shirlynn SPACAPAN. (1984) The social psychology of noise. In: Jones, Dylan M. a Antony J. Chapman (ed.). *Noise and society*. New York: Wiley, s. 221-245. ISBN 0-471-90357-4.
- CORREIA, Andrew W. et al. (2013) Residential exposure to aircraft noise and hospital admissions for cardiovascular diseases: multi-airport retrospective study. *British Medical Journal*. roč. 347, str. 1-11.
- COULOUVRAT, François. (2012) Sources and propagation of atmospherical acoustic shock waves. In: *Nonlinear acoustics: state-of-the-art and perspectives, 9th International Symposium on Nonlinear Acoustics*. Melville, New York: American Institute of Physics. no. 1474, s. 19-28, ISBN 073541081X.
- CVETKOVIC, Dragan a Momir PRASCEVIC. (2000) Rating noise level as environmental noise indicator. *Facta universitatis: Working and Living Enviromental Protection*. roč.1, čís. 5, s. 39-50
- CYNX, Jeffrey, Heather WILLIAMS a Fernando NOTTEBOHM. (1999) Timbre discrimination in zebra finch (*Taeniopygia guttata*) song syllables. *Journal of Comparative Psychology*. roč. 104, čís. 4, s. 303
- ČHMÚ - Český hydrometeorologický ústav. *Portál Českého hydrometeorologického ústavu* [online]. [cit. 2016-06-23]. Dostupné z: <http://portal.chmi.cz>
- DANIEL, Peter a Reinhard WEBER. (1997) Psychoacoustical roughness: Implementation of an optimized model. *Acta Acustica united with Acustica*. roč. 83, čís. 1, s. 113-123
- De COENSEL, Bert a Dick BOTTELDOOREN. (2006) The quiet rural soundscape and how to characterize it. *Acta Acustica united with Acustica*, roč. 92, čís. 6, s. 887-897.
- DEBAENE, Wouter, et al. (2004) Roughness perception in sounds: behavioral and ERP evidence. *Biological psychology*. roč. 67, čís. 3, s. 319-330.
- DEFREVILLE, Boris, et al. (2007) Objective Representation of Urban Soundscape: Application to a Parisian Neighbourhood. In: *Proceedings of the 36th International Congress and Exhibition on Noise Control Engineering: Inter-Noise 2007*. Turkey, Istambul: Turkish Acoustical Society. s. 3015-3022. ISBN 978-1-60560-385-8.
- DUDOVÁ, Jana. (2013) *Právní aspekty ochrany veřejného zdraví před environmentálním hlukem*. Brno: Masarykova univerzita. ISBN 978-80-210-6522-2
- EEA – Evropská agentura pro životní prostředí. (2010) *Good practice guide on noise exposure and potential health effects*. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Union. 36 s. ISBN 978-92-9213-140-1.
- EEA – Evropská agentura pro životní prostředí. (2014) *Noise in Europe 2014: EEA Report No. 10/2014*. Luxembourg: Publications Office of the European Union. ISBN 978-92-9213-505-8.
- EEROLA, Tuomas, Rafael FERRER a Vinoo ALLURI. (2012) Timbre and affect dimensions: evidence from affect and similarity ratings and acoustic correlates of isolated instrument sounds. *Music Perception: An Interdisciplinary Journal*. roč. 30, čís. 1. s. 49-70.
- ELLERMEIER, Wolfgang, Markus MADER a Peter DANIEL. (2004) Scaling the unpleasantness of sounds according to the BTL model: Ratio-scale representation and psychoacoustical analysis. *Acta Acustica united with Acustica*, roč. 90, čís. 1, s. 101-107.
- ELLERMEIER, Wolfgang, Monika EIGENSTETTER a Karin ZIMMER. (2001) Psychoacoustic correlates of individual noise sensitivity. *The Journal of the Acoustical Society of America*. str. 109, čís. 4, s. 1464-1473
- EC - Evropská komise. (2002) *Position paper on dose response relationships between transportation noise and annoyance*. Luxembourg: Office for official publications of the European Communities. ISBN 9289438940.
- EC – Evropská komise. (2000) *Position paper on EU noise indicators: a report*. Office for official publications of the European Communities. 78 s. ISBN 92-82-88953-X

EVANS, Gary W., et al. (2001) Community noise exposure and stress in children. *The Journal of the Acoustical Society of America*. roč. 109, čís. 3. s. 1023-1027.

EVANS, W. Garry a Sheldon Cohen. (1987) Environmental stress. In: Irwin Altman, Stokols, Daniel (ed.). *Handbook of environmental psychology*. New York: John Wiley and Sons. Kapitola 4, s. 815-824. ISBN 978-0-471-40594-8.

FANG, Chih-Fang a DER-LIN LING. (2005) Guidance for noise reduction provided by tree belts. *Landscape and urban planning*. roč. 71, čís. 1, s. 29-34.

FASTL, Hugo. (1997) The psychoacoustics of sound-quality evaluation. *Acta Acustica united with Acustica*. roč. 83, čís. 5, s. 754-764.

FASTL, Hugo. (2006) Psychoacoustic basis of sound quality evaluation and sound engineering. In: *Proceedings of the 13th International Congress on Sound and Vibration, ICSV13*. Vienna, Austria: University of Technology. ISBN 39-50-15-54-49.

FERJENČÍK, Ján. (2010) *Úvod do metodologie psychologického výzkumu: jak zkoumat lidskou duši*. Praha: Portál. ISBN 978-80-7367-815-9.

FIDELL, Sanford. (2003) The Schultz curve 25 years later: A research perspective. *The Journal of the Acoustical Society of America*. roč. 114, čís. 6, s. 3007-3015.

FIELDS, J. M., et al. (1997) Guidelines for reporting core information from community noise reaction surveys. *Journal of sound and vibration*. roč. 206, čís. 5, s. 685-695.

FIELDS, J. M., et al. (2001) Standardized general-purpose noise reaction questions for community noise surveys: Research and a recommendation. *Journal of sound and vibration*. roč. 242, čís. 4, s. 641-679.

FIELDS, James M. (1993) Effect of personal and situational variables on noise annoyance in residential areas. *The Journal of the Acoustical Society of America*. roč. 93, čís. 5, s. 2753-2763.

FITCH, W. Tecumseh a J. Patrick Kelley. (2000) Perception of vocal tract resonances by whooping cranes *Grus americana*. *Ethology*. roč. 106, čís. 6, s. 559-574.

FLINDELL, Ian H. a Pieter Jan M. STALLEN. (1999) Non-acoustical factors in environmental noise. *Journal of Noise and Health*, roč. 1 čís. 3, s. 11.

FRANCIS, Clinton D. a Jesse R. BARBER. (2013) A framework for understanding noise impacts on wildlife: an urgent conservation priority. *Frontiers in Ecology and the Environment*. roč. 11, čís. 6, s. 305-313.

GAVER, William W. (1993) What in the world do we hear?: An ecological approach to auditory event perception. *Ecological psychology*. roč. 5, čís. 1, s. 1-29.

GEE, Kent L., et al. (2007) On the potential limitations of conventional sound metrics in quantifying perception of nonlinearly propagated noise. *The Journal of the Acoustical Society of America*, roč. 121 čís. 1, s. 1-7.

GEISSNER, Emilie a Etienne Parizet. (2008) Relation between the overall unpleasantness of a long duration sound and the one of its event: application to a delivery truck. *The Journal of the Acoustical Society of America*, roč. 123, čís. 5.

GENUIT, Klaus. (2002) Sound quality aspects for environmental noise. *Proceedings of the 29th International Congress on Noise Control Engineering, August 27-30, 2000*. Nice, France. s. 19-21.

GENUIT, Klaus, a Andre Fiebig. (2006) Psychoacoustics and its benefit for the soundscape approach. *Acta acustica united with Acustica*. roč. 92, čís. 6, s. 952-958.

GLIEBE Pilip. (1996) Fan broadband noise, the floor to high bypass ratio engine noise reduction. *Proceedings Inter-noise 96 : the 1996 International Congress on Noise Control Engineering*. St Albans:Institute of Acoustics. s. 133-138.

GORJ-BANDPY, M. a M. AZIMI. (2013) Passive Techniques for Fan Noise Reduction in New Turbofan Engines: Review. *Journal of Engineering Science and Technology Review*. str. 6, čís. 1, s. 59-61.

GRABENHORST, Fabian, et al. (2007) How pleasant and unpleasant stimuli combine in different brain regions: odor mixtures. *The Journal of Neuroscience*. roč. 27, čís. 49, s. 13532-13540.

GRIEFAHN, Barbara, et al. (2008) Autonomic arousals related to traffic noise during sleep. *Journal of Sleep*. roč. 31, čís. 4, s. 569-576.

GUNN WALTER J. a Harrold P. PATTERSON. (1975) A model and plan for a longitudinal study of community response to aircraft noise. In: *NASA technical report*. Hampton, Virginia: Langley research center. 100 s.

GUSKI et al. (1999) The concept of noise annoyance: how international experts see it. *Journal of sound and vibration*. čís. 223, roč. 4, s. 513-527.

GUSKI, Rainer. (1999) Personal and social variables as co-determinants of noise annoyance. *Noise and health*. roč. 1, čís. 3, s. 45-56.

GUSKI, Rainer. (2004) How to forecast community annoyance in planning noisy facilities. *Journal of Noise and Health*. roč. 6, čís. 22, s. 59-64.

HABIB, Lucas, Erin M. BAYNE a Stan BOUTIN. (2007) Chronic industrial noise affects pairing success and age structure of ovenbirds *Seiurus aurocapilla*. *Journal of Applied Ecology*. roč. 44, čís. 1, s. 176-184.

HAINES, Mary M., et al. (2001) A follow-up study of effects of chronic aircraft noise exposure on child stress responses and cognition. *International journal of epidemiology*. roč. 30 čís. 4 s. 839-845.

HALPERN, D. Lynn, Randolph BLAKE a James HILLENBRAND. (1986) Psychoacoustics of a chilling sound. *Perception and Psychophysics*, roč. 39, čís. 2, s. 77-80.

HANSEN, Hans, Reinhard WEBER a Uwe LETENS. (2005) Quantifying tonal phenomena in interior car sound. In: *Proceedings of forum Acusticum Budapest, Hungary*. Budapest: EAA-Hungary. s. 1725-1729, ISBN 9638241683.

HARDING, Sue, Martin COOKE a Peter KÖNIG. (2007) Auditory gist perception: an alternative to attentional selection of auditory streams?. In: Rome, Erich, Paletta, Lucas (ed.). *Attention in cognitive systems: theories and systems from an interdisciplinary viewpoint: 4th International Workshop on Attention in Cognitive Systems, revised selected papers*. Hyderabad, India: Springer-Berlin. ISBN 978-3-540-77342-9.

HARDING, Frost A-H., et al. (2013) The cost of hypertension-related ill-health attributable to environmental noise. *Journal of noise and health*. roč. 67, s. 437-445.

HATOH, Tadasu, et al. (2004) Effects of Frequency Characteristics of Sound Insulation on Sound Quality of Noise—Examination of the model of unpleasantness. In: *Proceedings of the 18th International Congress on Acoustics, Kyoto International Conference Hall [CD]*. Kyoto, Japan, [cit. 2016-05-27]. Dostupné z: <http://www.icacommission.org/Proceedings/ICA2004Kyoto/index.html>

HEINONEN-GUZEJEV, Marja, et al. (2012) Noise sensitivity and multiple chemical sensitivity scales: Properties in a population based epidemiological study. *Journal of Noise and Health*. roč. 14, čís. 60, s. 215.

Hsu, Timothy, et al. (2012) Noise pollution in hospitals: impact on patients. *Journal of Clinical Outcomes Management*. roč. 19, čís. 7, s. 301-309.

- HUGO Fastl. (2005) Psycho-Acoustics and Sound Quality. In: Blauert Jens (ed.). *Communication acoustics*. Berlin: Springer-Verlag. 379 s. ISBN 354022162X.
- CHARTRAND, Jean-Pierre, Isabelle PERETZ a Pascal BELIN. (2008) Auditory recognition expertise and domain specificity. *Journal of Brain research*. roč. 12, čís. 20, s. 191-198.
- ICAO – International civil aviation organization. (2007) *A review of noise abatement procedure research and development and implementation results* [online]. Dostupné z: <http://www.icao.int/environmental-protection/Documents/ReviewNADRD.pdf>
- ISABELLE Peretz. (2008) The need to consider underlying mechanisms: A response from dissonance. *Behavioral and Brain Sciences*. roč. 31, čís. 4, s. 590-591.
- ISING, H. a B. KRUPPA. (2004) Health effects caused by noise: evidence in the literature from the past 25 years. *The Journal of Noise and Health*. Roč. 6, čís. 22, s. 5.
- IVOSEVIC, Jurica, Dubravko MILKOVIC a Karolina KRAJCEK. (2012) Comparative interior noise measurements in a large transport aircraft - turboprops vs turbofans. In: *Proceedings of the 5th Congress of the Alps Adria acoustics association*. Petřane: Hrvatsko akustičko društvo. s. 1-6. ISBN 9789539509710.
- JANSSEN, Sabine A., et al. (2011) Trends in aircraft noise annoyance: The role of study and sample characteristics. *The Journal of the Acoustical Society of America*. roč. 129, čís. 4, s. 1953-1962
- JARUP, Lars, et al. (2005) Hypertension and exposure to noise near airports (HYENA): study design and noise exposure assessment. *Environmental Health Perspectives*. roč. 113, čís. 11, s. 1473-1478.
- JOB, R. F. (1996) The influence of subjective reactions to noise on health effects of the noise. *Environment international*. roč. 22. čís. 1, s. 93-104.
- JOB, R.F. (1999) Noise sensitivity as a factor influencing human reaction to noise. *Journal of Noise and Health*. roč. 1 čís. 3, s. 57-68.
- JOHANSSON, O. (2000). Relationship between psychoacoustic descriptors and annoyance: Regarding sound in home environments. [CD], In: *Proceedings of the 29th International Congress on Noise Control Engineering, August 27-30, 2000*. Nice, France. s. 4178-4186.
- JONES, Michael G., et al. (2002) Effects of liner geometry on acoustic impedance. In: *Proceedings of 8th AIAA/CEAS Aeroacoustics Conference* [online]. Colorado, USA, [cit. 2016-05-27]. s: 1-10. Dostupné z: <http://arc.aiaa.org/doi/abs/10.2514/6.2002-2446>.
- JORIS, P. X., C. E. SCHREINER a A. REES. (2004) Neural processing of amplitude-modulated sounds. *Physiological reviews*. roč. 84, čís. 2, s. 541-577.
- JUSLIN, Patrik N. a Daniel VASTFJALL. (2008) Emotional responses to music: The need to consider underlying mechanisms. *Behavioral and brain sciences*. roč. 31, čís. 05, s. 559-575.
- KASELOO, Paul A. (2006) Synthesis of noise effects on wildlife populations. In: *Proceedings of the 2005 International Conference on Ecology and Transportation*. Center for Transportation and the Environment, North Carolina State University. s. 33-35. ISBN 0977809412.
- KASTELEIN, Ronald A., et al. (2008) Acoustic dose-response effects in marine fish. *Bioacoustics*. roč. 17, čís. 1-3, s. 201-202.
- KIGHT, Caitlin R. a John P. Swaddle. (2011) How and why environmental noise impacts animals: an integrative, mechanistic review. *Ecology letters*. roč. 14, čís. 10, s. 1052-1061.

- KIM, Ki-Hyun, et al. (2012) Some insights into the relationship between urban air pollution and noise levels. *Science of the Total Environment*. roč. 424, s. 271-279.
- KNEZ, Igor a Staffan HYGGE. (2001) The circumplex structure of affect: A Swedish version. *Scandinavian journal of psychology*. roč. 42, čís. 5, s. 389-398.
- KOELSCH, Stefan a Walter A. SIEBEL. (2005) Towards a neural basis of music perception. *Trends in cognitive sciences*. roč. 9, čís. 12, s. 578-584.
- KOELSCH, Stefan, Björn-helmer Schmidt a Julia Kansok. (2002) Effects of musical expertise on the early right anterior negativity: An event-related brain potential study. *Journal of Psychophysiology*. roč. 39 čís. 5, s. 657-663.
- KOELSCH, Stefan, et al. (2006) Investigating emotion with music: an fMRI study. *Human brain mapping*. roč. 27, čís. 3, s. 239-250.
- KOELSCH, Stefan. (2005) Investigating emotion with music: neuroscientific approaches. *Annals of the New York Academy of Sciences*. roč. 1060, s. 412-418.
- KREIMAN, Jody, a Bruce R. GERRATT. (1996) The perceptual structure of pathologic voice quality. *The Journal of the Acoustical Society of America*. roč. 100, čís. 3, s. 1787-1795.
- KROESEN, Maarten a Dirk SCHRECKENBERG. (2011) A measurement model for general noise reaction in response to aircraft noise. *The Journal of the Acoustical Society of America*. roč.129 čís. 1, s. 200-210.
- KROESEN, Maarten, Eric J. E. Molin a BERT VAN WEE. (2013) Measuring subjective response to aircraft noise: The effects of survey context. *The Journal of the Acoustical Society of America*. roč. 133, čís. 1, s. 238-246.
- KROESEN, Maarten, et al. (2010) Estimation of the effects of aircraft noise on residential satisfaction. *Transportation research: Transport and environment*. roč 15, čís. 3, s. 144-153.
- KRYTER, Karl D. (1970) The effects of noise on man. 3. print. New York: Academic Press. 688 s. ISBN 9780124274501.
- KRYTER, Karl D. (1972) Non-auditory effects of environmental noise. *American journal of public health*. roč. 62, čís. 3, s. 389-398.
- KRYTER, Karl D. (2009) Acoustical model and theory for predicting effects of environmental noise on people. *The Journal of the Acoustical Society of America*. roč. 125 čís. 6, s. 3707-3721.
- KUCHARSKI, Radosław. (2007) Complex noise indicator for noise mapping based on the EU working groups' and Polish results of the annoyance investigations. *Archives of Acoustics*. roč. 32, čís 2, s 293-302.
- KUJAWA, Sharon G. a M. Charles LIBERMAN. (2009) Adding insult to injury: cochlear nerve degeneration after "temporary" noise-induced hearing loss. *The Journal of Neuroscience*. roč. 29, čís. 45., s. 14077-14085.
- KUMAR, Sukhbinder, et al. (2008) Mapping unpleasantness of sounds to their auditory representation. *The Journal of the Acoustical Society of America*, roč. 124, čís. 6, s. 3810-3817.
- KUWANO, Sonoko, et al. (2002) Subjective evaluation of car door sound. In: *Proceedings of the Sound Quality Symposium 2002* [CD]. Michigan, USA, [cit. 2016-05-27].
- LEE, Soogab, et al. (2008) Exposure-response relationships on community annoyance to transportation noise. In: *Proceedings of 9th Congress of the International Commission on the Biological Effects of Noise*. Dortmund, s. 587-593, ISBN 978-3-9808342-5-4
- LEMAITRE, Guillaume, et al. (2007) The sound quality of car horns: a psychoacoustical study of timbre. *Acta acustica united with Acustica*. roč. 93, str. 3, s. 457-468.

- LERCHER, Peter. (1996) Environmental noise and health: An integrated research perspective. *Environment International*. roč. 22, čís. 1, s. 117-129.
- LERCHER, Peter, et al. (2008) A comparison of regional noise-annoyance-curves in alpine areas with the European standard curves. In: *Proceedings of 9th Congress of the International Commission on the Biological Effects of Noise*. Dortmund, s. 295-301, ISBN 978-3-9808342-5-4.
- LETOWSKI, T. (1992) Timbre, tone color, and sound quality: Concepts and definitions. *Archives of Acoustics*, roč. 17, čís. 1, s. 17-30.
- LEVENTHALL, H. G. (2004) Low frequency noise and annoyance. *Journal of Noise and Health*. roč. 6 čís. 23, s. 59-72.
- LEYLEKIAN, L., M. LEBRUN a P. LEMPEREUR. (2014) An overview of aircraft noise reduction technologies. *AerospaceLab Journal*. čís. 7, s. 1-15
- LIETZ, Petra. (2010) Research into questionnaire design. *International Journal of Market Research*. roč. 52, čís. 2, s. 249-272.
- LITeD [Software na CD] Praha: Akademie muzických umění
- MAGLIOZZI B., HANSON D. B. a AMIET R. K. (1991) Propeller and Propfan Noise. In: *Aeroacoustics of Flight Vehicles, Theory and Practice, Noise Sources*. In: *NASA technical report*. Hampton, Virginia: Langley research center. s. 1-64.
- MANLEY, Geoffrey A. (2000) Cochlear mechanisms from a phylogenetic viewpoint. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. roč. 97, čís. 22, s. 11736-11743.
- MARQUIS-FAVRE, C., E. PREMAT a D. AUBRÉE. (2005) Noise and its effects—A review on qualitative aspects of sound. Part II: noise and annoyance. *Acta acustica united with acustica*, roč. 91, čís. 4, s. 626-642.
- MARQUIS-FAVRE, C., et al. (2005) Noise and its effects—A review on qualitative aspects of sound. Part I: Notions and acoustic ratings. *Acta acustica united with acustica*. roč. 91 čís. 4, s. 613-625.
- MASATAKA, Nobuo. (2006) Preference for consonance over dissonance by hearing newborns of deaf parents and of hearing parents. *Developmental science*. roč. 9, čís. 1, s. 46-50.
- MCADAMS, Stephen a Jean-Christophe CUNIBLÉ. (1992) Perception of timbral analogies. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, roč. 336, s. 383-389.
- MCADAMS, Stephen, et al. (1995) Perceptual scaling of synthesized musical timbres: Common dimensions, specificities, and latent subject classes. *Psychological research*, roč. 58, čís. 3, s. 177-192.
- MCADAMS, Stephen. (1999) Perspectives on the contribution of timbre to musical structure. *Computer Music Journal*. roč. 23, čís. 3, s. 85-102.
- MCALPINE, A., M. J. FISHER a B. J. TESTER. (2007) „Buzz-saw“ noise: A comparison of modal measurements with an improved prediction method. *Journal of Sound and Vibration*. roč. 306, čís. 3, s. 419-443.
- MCALPINE, A., M. J. FISHER a B. J. TESTER. (2006) „Buzz-saw“ noise: A comparison of measurement with prediction. *Journal of sound and vibration*. roč. 290, čís. 3, s. 1202-1233.
- MCDERMOTT, Josh a Marc HAUSER. (2004) Are consonant intervals music to their ears? Spontaneous acoustic preferences in a nonhuman primate. *Cognition*. roč. 9, čís. 2, s. 11-21.
- MELKA, Alois. (2005) *Základy experimentální psychoakustiky*. Praha: Akademie múzických umění v Praze, 327 s. ISBN 80-7331-043-0.

- MIEDEMA, H. M a C. G. OUDSHOORN. (2001) Annoyance from transportation noise: relationships with exposure metrics DNL and DENL and their confidence intervals. *Environmental health perspectives*. roč. 109, čís. 4, s. 409.
- MIEDEMA, Henk ME a Henk VOS. (1998) Demographic and attitudinal factors that modify annoyance from transportation noise. *The Journal of the Acoustical Society of America*. roč. 105. čís. 6, s. 3336-3344.
- MIGLIORINI, Laura, et al. (2008) Sense of safety and the urban environment: A study of preadolescents and adolescents. *Medio Ambiente y Comportamiento Humano*. roč. 9, čís. 1,2 s. 69-89.
- MOREL, Julien, et al. (2012) Physical and perceptual characterization of road traffic noises in urban areas for a better noise annoyance assessment. In: *Proceedings of the Acoustics 2012 Nantes Conference*. Institute of Acoustics. s. 1685-1690. ISBN 978-2-919340-01-9.
- MORGAN, Rick L. a David HEISE. (1988) Structure of emotions. *Social Psychology Quarterly*. American Sociological Association. roč. 51, čís. 1, s. 19-31.
- MORIHARA, Takashi, Tetsumi SATO a Takashi YANO. (2004) Comparison of dose-response relationships between railway and road traffic noises: the moderating effect of distance. *Journal of sound and vibration*. roč. 277, čís. 3, s. 559-565
- MORILLAS, Juan Miguel Barrigón, et al. (2005) A categorization method applied to the study of urban road traffic noise. *The Journal of the Acoustical Society of America*. roč. 117, čís. 5, s. 2844-2852.
- MUER, Tom, et al. (2005) A model for noise annoyance based on notice-events. In: *Proceedings of International Congress on Noise Control Engineering, 7-10 August 2005* [online]. Rio de Janeiro, Brazil, 2005 [cit. 2016-05-27]. Dostupné z: <https://biblio.ugent.be/publication/331135/file/563506>
- MURPHY, Enda a Eoin A. KING. (2010) Strategic environmental noise mapping: Methodological issues concerning the implementation of the EU Environmental Noise Directive and their policy implications. *Environment international*. roč. 36, čís. 3, s. 290-298.
- NAISH, Daniel, Andy CC TAN a F. Nur DEMIRBILEK. (2011) A review of road traffic noise indicators and their correlation with the LA10 (18hour). In: *Proceedings of the 2011 Conference of the Australian Acoustical Society*. Gold Coast, Australia: The Australian Acoustical Society, příspěvek č. 7, s 1-8, ISBN: 978-0-9757855-8-4.
- NALIANDA, D. K., et al. (2015) Techno-economic viability assessments of greener propulsion technology under potential environmental regulatory policy scenarios. *Applied Energy*. roč. 157, s. 35-50.
- NAMBA, Seiichiro, et al. (1991) Verbal expression of emotional impression of sound: A cross-cultural study. *Journal of the Acoustical Society of Japan*. roč. 12 čís. 1, s. 19-29.
- NEUMANN. (2013) *KU100 Operating instructions*, Germany:Georg Neumann GmbH, 16 s.
- Nilsson, Mats E. (2007) A-weighted sound pressure level as an indicator of short-term loudness or annoyance of road-traffic sound. *Journal of Sound and Vibration*. roč. 302 čís. 1, s. 197-207.
- NYBORG, Wesley, L. a David MINTZER. (1955) *Review of sound propagation in the lower atmosphere*. Brown university - Wright air development center, 233 s.
- O'MALLEY, Vincent, et al. (2009) Assessing methodologies for calculating road traffic noise levels in Ireland- Converting CRTN indicators to the EU indicators (L den, L night). *Journal of Applied Acoustics*, roč. 70, čís 2, s. 284-296.
- OCCAN, Elif a Rene van EGMOND. (2012) Basic semantics of product sounds. *International Journal of Design*, roč. 6, čís. 2, s. 41-54.

- OHRSTROM, E., et al. (2006) Effects of road traffic noise and the benefit of access to quietness. *Journal of Sound and Vibration*. roč. 295, čís.1, s. 40-59.
- OTČENÁŠEK, Jan. (2013) *Vnímání drsnosti zvuku vyvolané nepravidelným kmitáním struny houslí*. Praha. Bakalářská práce. Univerzita Karlova. Vedoucí práce Mgr. Jana Kružíková.
- OUIS, Djamel. (2001) Annoyance from road traffic noise: a review. *Journal of environmental psychology*. roč. 21, čís. 1, s. 101-120.
- OUIS, Djamel. (2002) Annoyance caused by exposure to road traffic noise: An update. *Journal of Noise and Health*. roč. 21, čís. 15, s. 69.
- PALIATH, Umesh, et al. (2010) Multiple Pure Tone Noise Prediction for Acoustically Treated Aircraft Engines. In: *Proceedings of the 16th AIAA/CEAS Aeroacoustics Conference*. Stockholm, Sweden, [cit. 2016-05-27]. Dostupné z: <http://arc.aiaa.org/doi/pdf/10.2514/6.2010-3714>.
- PASSCHIER-VERMEER, Willy a Wim F. PASSCHIER. (2000) Noise exposure and public health. *Environmental health perspectives*. roč. 108, čís. 1, s. 123-131.
- PEETERS, Geoffroy, et al. (2011) The timbre toolbox: Extracting audio descriptors from musical signals. *The Journal of the Acoustical Society of America*. roč. 130, čís. 5, s. 2902-2916.
- PERAKIS, J. George, Ian H. FINDELL a Rod H. SELF. (2013) Towards Roughness as an Additional Metric for Aircraft Noise Containing Multiple Tones. *Acta Acustica united with Acustica*. roč. 99, s. 828-835.
- PERSSON, K. a M. BJORKMAN. (1988) Annoyance due to low frequency noise and the use of the dB(A) scale. *Journal of Sound and Vibration*, roč. 127, str. 3, s. 491-497.
- PLHÁKOVÁ, Alena. (2004) *Učebnice obecné psychologie*. Praha: Academia. 472 s. ISBN 80-200-1086-6.
- PORTER, Nicole, et al. (2014) The next generation of supplementary aviation noise metrics and their use in managing aviation noise. In: *Proceedings of 43rd International Congress on Noise Control Engineering* [Online]. Melbourne, Australia, [cit. 2016-05-27]. Dostupné z: http://www.acoustics.asn.au/conference_proceedings/INTERNOISE2014/index.htm
- PRATT, R. L. a P. E. DOAK. (1976) A subjective rating scale for timbre. *Journal of Sound and Vibration*. roč. 45, čís. 3, s. 317-328.
- PRESSNITZER, Daniel, et al. (2000) Perception of musical tension for nontonal orchestral timbres and its relation to psychoacoustic roughness. *Perception and psychophysics*. roč 62, čís. 1, s. 66-80.
- PRONELLO, Christina a Cristian CAMUSSO. (2012) A review of transport noise indicators. *Transport Reviews: A Transnational Transdisciplinary Journal*. roč 32, čís. 5, s. 599-628.
- QUEHL, Julia a Mathias BASNER. (2006) Annoyance from nocturnal aircraft noise exposure: Laboratory and field-specific dose-response curves. *Journal of Environmental Psychology*. roč. 26, čís. 2, s. 127-140.
- RAGGAM, Reinhard B., et al. (2007) Personal noise ranking of road traffic: Subjective estimation versus physiological parameters under laboratory conditions. *International journal of hygiene and environmental health*. roč. 210, čís. 2, s. 97-105.
- RAICHEL, Daniel R. (2006) *The science and applications of acoustics*. Second edition. New York: Springer. 660 s. ISBN 0387300899.
- REICHERT, Michael S. a Bernhard RONACHER. (2015) Noise affects the shape of female preference functions for acoustic signals. *Evolution*. roč. 69, čís. 2, s. 381-394.

- ROLLAND, Rosalind M., et al. (2012) Evidence that ship noise increases stress in right whales. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*. roč. 279, čís. 1737, s. 2363-2368.
- RUSSELL, James A. (1983) Pancultural aspects of the human conceptual organization of emotions. *Journal of personality and social psychology*. roč. 45, čís. 6, s. 1281-1288.
- SALT, Alec N. a Timothy E. HULLAR. (2010) Responses of the ear to low frequency sounds, infrasound and wind turbines. *Hearing research*. roč. 268, čís. 1, s. 12-21.
- SANDROCK, Stephan, et al. (2008) Experimental studies on annoyance caused by noises from trams and buses. *Journal of Sound and Vibration*. roč. 313, čís. 3, s. 908-919.
- SATO, Shin-ichi, Jin YOU a Jin YONG JEON. (2007) Sound quality characteristics of refrigerator noise in real living environments with relation to psychoacoustical and autocorrelation function parameters. *The Journal of the Acoustical Society of America*. roč. 122, čís. 1, s. 314-325.
- SCHMIDT, Frank P., et al. (2013) Effect of nighttime aircraft noise exposure on endothelial function and stress hormone release in healthy adults. *European heart journal*, roč. 34, čís. 45.
- SCHOMER, Paul D. (2002) On normalizing DNL to provide better correlation with response. *Journal of Sound and Vibration*. roč. 36, čís. 12, s. 14-25.
- SCHROEDER, Julia, et al. (2012) Passerine birds breeding under chronic noise experience reduced fitness. *PLoS one*. roč. 7, čís. 6, s. 1-8
- SCHULTEN, J. B. (1997) *Computation of aircraft noise propagation through the atmospheric boundary layer*. Amsterdam, Netherlands:National aerospace laboratory, s. 1-13.
- SCHULTZ, Theodore J. (1978) Synthesis of social surveys on noise annoyance. *The journal of the acoustical society of America*. roč. 64, čís. 2, s. 377-405.
- SCHWARTZ, Henrik. (2002) Differences in traffic noise measurements with SLM and binaural recording head. In: *Proceedings of Forum acusticum Sevilla 2002*. Sevilla, Spain: Sociedad Española de Acústica, 2002. ISBN 8487985076.
- SIEDENBURG, Kai, Ichiro FUJINAGA, a Stephen McADAMS. (2016) A Comparison of Approaches to Timbre Descriptors in Music Information Retrieval and Music Psychology. *Journal of New Music Research*. roč. 45, čís. 1, s. 27-41.
- SIEMERS, Björn M. a Andrea SCHAUB. (2011) Hunting at the highway: traffic noise reduces foraging efficiency in acoustic predators. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*. roč. 278, čís. 1712, s. 1646-1652.
- SILLAMY, Norbert. (2001) *Psychologický slovník*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci. ISBN 80-244-0249-1
- SILLER, Henri a Ulf MICHEL. (2002) Buzz-saw noise spectra and directivity from flyover tests. In: *Proceedings of 8th AIAA/CEAS Aeroacoustics Conference* [online]. Colorado, USA, [cit. 2016-05-27]. s. 1-7. Dostupné z: <http://arc.aiaa.org/doi/pdf/10.2514/6.2002-2562>.
- SJOBERG, Lennart, Erland SVENSSON a Lars-Olof PERSSON. (1979) The measurement of mood. *Scandinavian Journal of Psychology*, roč. 20, čís. 1, č. 1-18.
- SLABBEKOORN, Hans, et al. (2010) A noisy spring: the impact of globally rising underwater sound levels on fish. *Trends in Ecology and Evolution*. roč. 25, čís. 7, s. 419-427.
- SMETANA, Ctirad et al. (1998) *Hluk a vibrace: měření a hodnocení*. Praha: Sdělovací technika. ISBN 80-901936-2-5.
- STATISTICA [software na CD]. Statsoft inc.

- STALLEN, Pieter Jan M. (1999) A theoretical framework for environmental noise annoyance. *Journal of Noise and Health*. roč. 1 čís. 3, s. 69-79.
- STANSFELD, S. A., et al. (2000) A review of environmental noise and mental health. *Journal of Noise and Health*. roč. 2 čís. 8, s. 1-8.
- STANSFELD, Stephen, Mary HAINES a Bernadette BROWN. (2000) Noise and health in the urban environment. *Reviews on environmental health*. roč. 151 čís. 2, s. 43-82.
- STEVENS, S. S. (1972) Perceived level of noise by Mark VII and decibels (E). *The Journal of the Acoustical Society of America*. roč. 51, s. 575-601.
- STEWART, Lauren, et al. (2006) Music and the brain: disorders of musical listening. *Brain*. roč. 129, čís. 10, s. 2533-2553.
- STURROCK, Kenneth a Jorge ROCHA. (2000) A multidimensional scaling stress evaluation table. *Field methods*, roč. 12, čís. 1, s. 49-60.
- SUAU-SANCHEZ, Pere, Montserrat PALLARES-BARBERA a Valeria PAUL. (2011) Incorporating annoyance in airport environmental policy: noise, societal response and community participation. *Journal of Transport Geography*. roč. 19, čís. 2, s. 275-284.
- SUGA, Nobuo, et al. (2002) Plasticity and corticofugal modulation for hearing in adult animals. *Neuron*. roč. 36, čís. 1, s. 9-18.
- SUSINI, Patrick, Stephen MCADAMS a Suzanne WINSBERG. (1999) A multidimensional technique for sound quality assessment. *Acta acustica united with Acustica*, roč. 85, čís. 5, s. 650-656.
- SYKA, Jozef, Luboš VOLDŘICH a František VRABEC. (1981) *Fyziologie a patofyziologie zraku a sluchu*. Praha: Avicenum. 322 s.
- ŠTĚPÁNEK, J. (2006) Musical sound timbre: Verbal description and dimensions. In: *Proceedings of the 9th International Conference on Digital Audio Effects 2006*. Montreal, Quebec, Canada. s. 121-126.
- ŠTĚPÁNEK, Jan, Ondřej MORAVEC. (2005) *Barva zvuku a její slovní popis*. Praha: Nakladatelství HAMU, 47 s. ISBN 80-7331-031-7.
- ŠTĚPÁNEK, Jan. (2002) Evaluation of timbre of violin tones according to selected verbal attributes. In: *Acoustics Banská Stiavnica: Proceedings of the 32nd International Acoustical Conference: European Acoustics Association (EAA) Symposium*. Slovakia, Zvolen: TU Zvolen.
- TAKAO, Hideo, Takeo HASHIMOTO a Shigeko HATANO. (1993) Quantification of subjective unpleasantness using roughness level. In: *Proceedings of the 1993 Noise and Vibration Conference*. Warrendale, PA: Society of Automotive Engineers. s. 561-570, ISBN 9781560913672.
- TEN WOLDE, T. (2000) The EU policy on environmental noise. *Proceedings of the 29th International Congress on Noise Control Engineering*. August 27-30, 2000. Nice, France. s.1880-1883.
- TEN WOLDE, Tjeert a Graaf Willem DE RIJKELAAN. (2002) The EU noise policy and its research needs. In: *Proceedings of Forum acusticum Sevilla 2002 [CD]*. Sevilla, Spain: Sociedad Española de Acústica. 13 s.
- THOMAS, J. R. a D. M. JONES. (1982) Individual differences in noise annoyance and the uncomfortable loudness level. *Journal of Sound and Vibration*. roč. 82, čís. 2, s. 289-304.
- TSUCHIYA, Naoki, et al. (2004) Low noise FEGV designed by numerical method based on CFD. *ASME Turbo Expo 2004: Power for Land, Sea, and Air*. American Society of Mechanical Engineers, s. 1691-1698.

ÚCL – úřad pro civilní letectví (2016) Letecká informační příručka: AIP [Online]. [cit. 2016-05-27]. Dostupné z: https://lis.rlp.cz/ais_data/aip/data/valid/a2-pr-txt2.pdf

VALLET, Michel. (2008) Airport noise policies in Europe: The contribution of human sciences research. In: *Proceedings of 9th Congress of the International Commission on the Biological Effects of Noise*. Dortmund, s. 765-771. ISBN 978-3-9808342-5-4.

VAN GERVEN, Pascal W.M., et al. (2009) Annoyance from environmental noise across the lifespan. *The Journal of the Acoustical Society of America*. roč. 126, čís. 1, s. 187-194.

VAN KAMP, Irene a Hugh DAVIES. (2008) Environmental noise and mental health: Five year review and future directions. Noise as a public health problem. In: *Proceedings of 9th Congress of the International Commission on the Biological Effects of Noise*. Dortmund. s. 295-301, ISBN 978-3-9808342-5-4.

VAN KAMP, Irene a Hugh DAVIES. (2013) Noise and health in vulnerable groups: a review. *Journal of noise and health* roč. 15, s. 153 - 159

VASSILAKIS, Pantelis N. a K. FITZ. (2007) SRA: A Web-based Research Tool for Spectral and Roughness Analysis of Sound Signals [online]. In: *Proceedings of the 4th Sound and Music Computing Conference*. Lefkada, Greece, [cit. 2016-05-27]. Dostupné z: <http://smc07.uoa.gr/SMC07%20Proceedings.htm#>

VASSILAKIS, Pantelis N. a Roger A. KENDALL. (2010) Psychoacoustic and cognitive aspects of auditory roughness: definitions, models, and applications. In: *Human vision and Electronic Imaging XV. Proceedings of SPIE, conference of the International Society for Optical Engineering*. United States, Springfield: The Society for Imaging Science and Technology. 488 s. ISBN 0819479209.

VASTFJALL, Daniel. (2012) Emotional reactions to sounds without meaning. *Psychology*. roč. 3, čís. 8, s. 606-609

VASTFJALL, Daniel, et al. (2002) Affective evaluations of and reactions to exterior and interior vehicle auditory quality. *Journal of Sound and Vibration*. roč. 255, čís. 3, s. 501-518.

VASTFJALL, Daniel, Mendel KLEINER a Tommy GÄRLING. (2003) Affective reactions to interior aircraft sounds. *Acta Acustica united with Acustica*. roč. 89, čís. 4, s. 693-701.

VASTFJALL, Daniel. (2002) Influences of current mood and noise sensitivity on judgments of noise annoyance. *The Journal of Psychology*, roč. 136, čís. 4, s. 357-370.

VENCOVSKÝ, V. a M. Frič. (2013) Basilar Membrane Excitation Patterns of Rough Sounds Simulated by Means of an Auditory Model. Prezentováno na: *Poster session of the 10th Pan-European Voice Conference*, čtvrtek 22. srpna. Praha, Česko.

WÄRNE, Persson K. a E. ÖHRSTROM. (2002) Psycho-acoustic characters of relevance for annoyance of wind turbine noise. *Journal of sound and vibration*. roč. 250, s. 65-73.

WEINSTEIN, Neil D. (1978) Individual differences in reactions to noise: a longitudinal study in a college dormitory. *Journal of Applied Psychology*. roč. 63, čís. 4, s. 458.

WHO – Světová zdravotnická organizace. (1948) *Official records of the World Health Organization: Summary report on proceedings, minutes and final acts of the international health conference held in New York from 19. June to 22. July 1946*. New York. 134 s.

WHO – Světová zdravotnická organizace. (1999) *Guidelines for Community Noise*. Singapore: Institute for environmental epidemiology. ISBN 99-7188-770-3.

ZWICKER, Eberhard a H. FASTL. (1999) *Psychoacoustics: facts and models*. Heidelberg: Springer-Verlag Berlin. 463 s. ISBN 978-3-540-23159-2

Citované legislativní dokumenty a normy:

Letecký předpis č. 525/2007-220-SP/1. předpis L16/1, ochrana životního prostředí, svazek 1 - hluk letadel. Praha: Ministerstvo dopravy, Úřad pro civilní letectví.

Letecký předpis č. 946/2006-220-SP/1. předpis L8168, Provoz letadel, Letové postupy. Praha: Ministerstvo dopravy, Úřad pro civilní letectví.

Metodický návod č. HEM-300-11.12.01-34065 pro měření a hodnocení hluku v mimopracovním prostředí. Praha: Ministerstvo zdravotnictví. Dostupné také z:

http://www.szu.cz/uploads/documents/ska/autorizace/hluk_v_mimoprac_prostredi.pdf

Metodický návod č. OVZ-32.0-19.02.2007/6306 pro měření a hodnocení hluku z leteckého provozu. Praha: Ministerstvo zdravotnictví. Dostupné také z: http://www.szu.cz/uploads/documents/ska/autorizace/hluk_letecky.pdf

Nařízení č. 272/2011 ze dne 24. srpna 2011, o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací. In: Sbírka zákonů České republiky. částka 97.

Nařízení č. 598/2014. Nařízení Evropského parlamentu a Rady ze dne 16. dubna 2014 o pravidlech a postupech pro zavedení provozních omezení ke snížení hluku na letištích Unie v rámci vyváženého přístupu, kterým se zrušuje směrnice 2002/30/ES. In: Úřední věstník Evropské unie L173. s. 65-78.

Norma ČSN EN ISO 3744. (2011) Akustika - Určování hladin akustického výkonu a hladin akustické energie zdrojů hluku pomocí akustického tlaku - Technická metoda pro přibližně volné pole nad odrazivou rovinou. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. 76 s. Třídící znak 011604.

Norma č. ČSN EN 60942. (2004) Elektroakustika - Akustické kalibrátory. třídící znak 368822. 84 s.

Norma ČSN IEC 50. (1995) Mezinárodní elektrotechnický slovník. Kapitola 801: Akustika a elektroakustika. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. 100 s. Třídící znak 011600

Norma ČSN ISO 1996-1. (2004) Akustika - Popis, měření a hodnocení hluku prostředí, Část 1: Základní veličiny a postupy pro hodnocení. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. 28 s. Třídící znak 011621.

Norma ČSN ISO 1996-1. (2004) Akustika - Popis, měření a posuzování hluku prostředí, Část 2: Určování hladin hluku prostředí. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. 28 s. Třídící znak 011621.

Norma ČSN ISO 226. (2005) Akustika - Normované křivky stejné hlasitosti. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. 24 s. Třídící znak 011687.

Rozhodnutí č. 1386/2013/EU. Rozhodnutí Evropského parlamentu a Rady ze dne 20. listopadu 2013 o všeobecném akčním programu Unie pro životní prostředí na období do roku 2020 „Spokojený život v mezích naší planety“. In: Úřední věstník Evropské unie L 354. s. 171-200

Směrnice č. 2000/14/ES. Směrnice Evropského parlamentu ze dne 8. května 2000 o sbližování právních předpisů členských států týkajících se emisí hluku zařízení, která jsou určena k použití ve venkovním prostoru, do okolního prostředí. In: Úřední věstník Evropské unie L162, s. 1-78.

Směrnice č. 2002/49/EC. Směrnice Evropského parlamentu a Rady ze dne 25. června 2002 o hodnocení a řízení hluku ve venkovním prostředí. In: Úřední věstník Evropské unie L 189. s. 101-115.

Směrnice č. 2003/10/EC. Směrnice Evropského parlamentu a Rady ze dne 6. února 2003 o minimálních požadavcích na bezpečnost a ochranu zdraví před expozicí zaměstnanců rizikům spojeným s fyzikálními činiteli (hlukem). In: Úřední věstník Evropské unie L42, s. 38-44.

Směrnice č. 2005/88/ES. Směrnice Evropského parlamentu a Rady ze dne 14. prosince 2005, kterou se mění směrnice 2000/14/ES o sblížování právních předpisů členských států týkajících se emisí hluku zařízení, která jsou určena k použití ve venkovním prostoru, do okolního prostředí. In: Úřední věstník Evropské unie L334, s. 44-46.

Směrnice č. 2011/92/EU. Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2011/92/EU ze dne 13. prosince 2011 o posuzování vlivů některých veřejných a soukromých záměrů na životní prostředí. In: Úřední věstník Evropské unie L26, s. 1-21.

Směrnice č. 2011/92/EU. Směrnice ze dne 13. prosince 2011 o posuzování vlivů některých veřejných a soukromých záměrů na životní prostředí. In: Úřední věstník Evropské unie L25, s. 1-21.

Směrnice č. 89/629/EHS. Směrnice Rady ze dne 4. prosince 1989 o omezení emisí hluku civilních podzvukových proudových letadel. In: Úřední věstník Evropské unie L363 s. 284 – 285.

Směrnice č. 92/14/EHS. Směrnice rady ze dne 2. března 1992 o omezení provozu letadel uvedených v části II kapitoly 2 svazku 1 přílohy 16 k Úmluvě o mezinárodním civilním letectví. In: Úřední věstník Evropské unie L76. s. 21-27.

Úmluva č. 147/1947 Sb o mezinárodním civilním letectví (v platném znění). In: Sbírka zákonů a nařízení republiky Československé. částka 68, s. 715-750

Vyhláška 523/2000 ze dne 21. listopadu 2006, kterou se stanoví mezní hodnoty hlukových ukazatelů, jejich výpočet, základní požadavky na obsah strategických hlukových map a akčních plánů a podmínky účasti veřejnosti na jejich přípravě. In: Sbírka zákonů České republiky. částka 168.

Vyhláška č. 651/2006 ze dne 30. listopadu 2006, o stanovení seznamu aglomerací pro účely hodnocení a snižování hluku. In: Sbírka zákonů České republiky. částka 168.

Zákon č. 100/2001 ze dne 20. února 2001, o posuzování vlivů na životní prostředí a o změně některých souvisejících zákonů In: Sbírka zákonů České republiky. částka 40.

Zákon č. 17/1992 ze dne 5. prosince 1991, o životním prostředí. In: Sbírka zákonů České republiky. částka 4.

Zákon č. 258/2000 Sb. ze dne 14. července 2000, o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů. In: Sbírka zákonů České republiky. částka 74.

Zákon č. 76/2002 ze dne 5. února 2002, o integrované prevenci a o omezování znečištění, o integrovaném registru znečišťování a o změně některých zákonů. In: Sbírka zákonů České republiky. částka 34.



Fakulta humanitních studií UK

katedra magisterského oboru

Sociální a kulturní ekologie

U Kříže 8/661, 158 00 Praha 5-Jinonice

Projekt diplomové práce (DP) oboru sociální a kulturní ekologie

1. Jméno studenta, titul: Bc. Jan Otčenášek
2. Osobní číslo (UKČO): 95592684
3. Rok imatrikulace na FHS UK: 2008
4. Datum zápisu na katedru sociální a kulturní ekologie FHS UK: 9/13
5. Názvy všech předchozích bakalářských prací:
Vnímání drsnosti zvuku vyvolané nepravidelným kmitáním struny houslí (Fakulta humanitních studií, Universita Karlova, Studium humanitní vzdělanosti, 2013)
6. Předběžný název DP: Vnímání drsnosti zvuku a drsnost zvuku jako parametr hlukového znečištění
7. Obecný kontext (souvislosti tématu, širší rámec): Hlukové znečištění představuje významný problém v oblasti životního prostředí i kvality života člověka. Dominantní přístup ke kvantifikaci hlukového znečištění je v současnosti založen na měření základních fyzikálních hodnot, zejména hladiny akustického tlaku. V tomto hodnocení je však opomíjen vliv dalších vlastností hluku, které mohou tvořit podstatnou složku hlukové zátěže, a jejichž zohlednění by mělo být předpokladem objektivního posouzení vlivu na životní prostředí i opatření ochrany před hlukem. V diplomové práci budou opatření ochrany před hlukem pojata v souvislostech kvantifikace hlukového znečištění a provedeného výzkumu drsnosti hluku.
8. Předmět zkoumání (vlastní předmět práce):
Drsnost zvuku je percepční veličina, kterou je člověk schopen posuzovat odděleně od ostatních současně probíhajících sluchových vjemů (např. hlasitosti). Slovně bývá charakterizována např. jako *bzučivost*, *hrubost* či *křapavost* zvuku. Jednotlivé podoby drsnosti se liší v důsledku jejích různých fyzikálních příčin. Lze předpokládat, že drsnost je jedním z faktorů hlukového znečištění, má vliv na míru obtěžování hlukem, a v současných metrikách hlukového znečištění není zohledněna. Drsnost tvoří významnou složku vjemu u leteckého hluku, zejména u současných leteckých motorů (tzv. cirkulárkový hluk). Práce se proto úžeji zaměří na letecký hluk.
9. Hlavní vstupní výzkumná otázka a hypotéza:
Výzkumná otázka: Je drsnost faktorem hlukového znečištění a jaké jsou její podoby?

Hypotéza 1: Drsnost je parametrem hlukového znečištění, drsné hlukové podněty se budou vyznačovat větší nepříjemností.

Hypotéza 2: Drsnost u hlukových podnětů není jednorozměrná, hlukové podněty se budou lišit také kvalitativně.

10. Metodologický postup: metody a techniky, které budou v práci použity:

Záznam leteckého hluku in-situ, konstrukce a interpretace prostorů nepříjemnosti a frekvenčních slovníků na základě poslechového testu.

11. Cíl DP (teoretický či praktický přínos, rozšíření dosavadních znalostí)

- 1) Rozšíření současných poznatků o drsnosti hlukových podnětů; podoby drsnosti.
- 2) Rozšíření současných poznatků o leteckém hluku (výzkumný problém cirkulárkového hluku).
- 3) Příspěvek k ověření poznatků dalších výzkumů.

12. Teoretické zobecnění a přínos práce:


Poznatky budou zobecněny do oblasti kvantifikace hlukového znečištění a indikátorů drsnosti hluku.

14. Předpokládaný vedoucí DP: Ing. Alois Melka, CSc.

V Praze dne 15.9.2015

Jan Otčenášek
diplomant


vedoucí
diplomové práce


vedoucí katedry
Sociální a kulturní ekologie

Příloha č. 2: Frekvenční spektra

